

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavební hmoty a diagnostiky

Vliv křemičitanu sodného na vybrané fyzikálně mechanické vlastnosti rostlého dřeva

Influence of sodium silicate on selected physico-mechanical properties of solid wood

Student:

Miroslav Havelka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Majstříková

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Havelka**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma: **Vliv křemičitanu sodného na vybrané fyzikálně mechanické vlastnosti
rostlého dřeva**
**Influence of sodium silicate on selected physico-mechanical properties
of solid wood**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Umělé nasycení dřevní hmoty křemičitany vede, stejně jako v případě přirozené mineralizace, ke změnám vlastností dřeva. Takto vzniká nová možnost chemického ošetření, či dokonce samotné modifikace materiálu, která má za následek zejména redukcí příjmu vody a dále také následné prodloužení trvanlivosti. U dřeva částečně, či úplně mineralizovaného, musí být pro stavební účely stanoveny především příslušné fyzikálně – mechanické vlastnosti, konkrétně vlhkostní charakteristiky, trvanlivost a v neposlední řadě i pevnostní parametry. Z tohoto důvodu je tato práce zaměřena na problematiku ovlivnění pevnostních vlastností vlivem mineralizace pomocí roztoku křemičitanu sodného – tzv. vodního skla. První část práce (teoretická) se bude zabývat popisem dřeva jako konstrukčního materiálu, degradací dřeva, možnostmi ochrany dřevěných prvků, procesem mineralizace a ovlivněním vlastností dřeva aplikovanou mineralizací. Ve druhé části (praktické) budou experimentálně stanoveny vybrané pevnostní charakteristiky na malých bezvadných vzorcích dřeva v závislosti na délce expozice vzorku v daném roztoku, případně vstupních klimatických podmínkách.

Seznam doporučené odborné literatury:

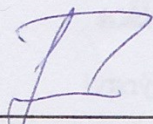
- KUKLÍK, P.: Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
- REINPRECHT, L.: Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. ISBN 978-80-228-1863-6.
- WITZANY, J., et al.: PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2006).
- ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva (2013).
- ČSN EN 384 Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty (2010).
- ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností (2012).
- ČSN EN 13183-1: Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení váhovou metodou (2004).
- ČSN EN 13183-2 Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou (2002).
- ČSN 490110 Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v směru vláken (1980).
- ČSN 490117 Dřevo. Rázová húževnatost v ohybe (1982).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

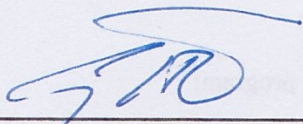
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Majstríková**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016


Ing. Libor Židek
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Miroslav Havelka

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
Miroslav Havelka

Poděkování

Rád bych poděkoval laboratoři Stavebních hmot a diagnostiky staveb, laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů z projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin za možnost využití zkušebních zařízení a dále pak Ing. Tereze Majstríkové za užitečné rady a poskytnutí materiálů pro zpracování této práce. Nakonec bych rád poděkoval i své přítelkyni a rodině za podporu a umožnění studia.

Anotace

Dřevo je přírodní materiál, který má své výhody a nevýhody, jenž se liší dle druhu dřeviny. Mezi výhody můžeme zařadit snadnou opracovatelnost, dostupnost, pevnost a další. Mezi nevýhody musíme zmínit nutnost ochrany před degradací vlivem hlavně biologických a termických činitelů. Z tohoto důvodu je práce zaměřena na stavbu dřeva, degradační činitele a možnosti ochrany dřeva. Jednou z možností ochrany dřeva je i modifikace materiálu s využitím tzv. mineralizace, která bude zkoumána i v této práci.

Úkolem praktické části je provedení mineralizace máčením čtyř druhů dřevin komerčně dostupným křemičitým roztokem, konkrétně sodným vodním sklem. V rámci této části jsou popsány a provedeny zkoušky, zejména mechanických parametrů – pevnosti v tlaku podél vláken a rázové houževnatosti. U těchto parametrů budou sledovány změny v závislosti na délce máčení.

Klíčová slova

rostlé dřevo, stavba dřeva, degradace dřeva, ochrana dřeva, mineralizace, modifikace, fyzikálně-mechanické vlastnosti dřeva

Annotation

Wood is a natural material with its advantages and disadvantages, which vary according to wooden species. To the advantages we can include easy workability, availability, strength and more. Among the disadvantages we have to mention the need of protection from degradation mainly due to the biological and thermal factors. From this reason, this work focuses on wooden structure, degradation factors and its protection options. Materials modification using known mineralization is one of the ways of wood protection that will be examined in this work.

The task of the practical part is mineralization performance of four tree species by dipping method with commercially available silica solution, namely sodium water glass. In this part tests, particularly mechanical parameters - compression strength along fibers and impact resistance, is described and performed. Changes of these parameters are monitored depending on the length of steeping.

Key words

solid wood, wooden structure, wooden degradation, wood protection, mineralization, modifications, physical and mechanical properties of solid wood

Obsah

Seznam použitého značení	8
1 Úvod	9
2 Dřevo	10
2.1 Stavba dřeva	12
2.1.1 Makroskopická stavba dřeva	12
2.1.2 Mikroskopická stavba dřeva	16
2.1.3 Submikroskopická stavba dřeva	20
2.1.4 Anatomická stavba dřeva	21
2.2 Vlastnosti dřeva	21
2.2.1 Fyzikální vlastnosti	22
2.2.2 Mechanické vlastnosti	23
2.2.3 Další důležité vlastnosti dřeva	24
3 Degradace dřeva	25
3.1 Degradace vlivem povětrnostních vlivů	25
3.2 Degradace vlivem termických účinků a ohně	27
3.3 Degradace dřeva vlivem agresivních chemikálií	28
3.4 Degradace vlivem biologického napadení dřeva	29
3.4.1 Zástupci dřevokazných hub	31
3.4.2 Dřevokazný hmyz	33
4 Ochrana dřeva	36
4.1 Fyzikální a konstrukční ochrana dřeva	36
4.2 Chemická ochrana dřeva	38
4.2.1 Ochrana pomocí impregnace	39
4.2.2 Ochrana dřeva protipožárními nátěry	42
4.2.3 Ochrana dřeva nátěry proti povětrnostním vlivům	43
4.2.4 Ochrana dřeva nátěry filmotvornými a lazurovacími	43
4.2.5 Penetrační nátěry	45

4.2.6	Ochrana dřeva nátěry proti agresivním chemikáliím.....	45
4.3	Modifikace.....	46
5	Mineralizace dřeva.....	48
5.1	Křemičité látky pro mineralizaci dřeva	49
5.2	Vodní sklo.....	49
6	Testování mineralizovaného dřeva.....	51
6.1	Stanovení rázové houževnatosti	52
6.2	Stanovení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny.....	55
6.3	Stanovení objemové hmotnosti	60
6.4	Stanovení vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou	61
6.5	Stanovení příjmu roztoku	61
6.6	Skenovací elektronová mikroskopie (SEM).....	62
6.7	Provádění experimentu a vyhodnocení výsledků	63
6.7.1	Rázová houževnatost vyhodnocení.....	63
6.7.2	Vyhodnocení pevnosti v tlaku podél vláken.....	70
6.7.3	Vyhodnocení skenovací elektronové mikroskopie (SEM)	77
7	Závěr	81
8	Seznam použitých pramenů	83
9	Přílohy.....	85

Seznam použitého značení

UV	ultrafialové záření
M	křemičitý modul
Q	práce nutná k porušení vzorku, změřená na Charpyho kladivě
A_w	rázová houževnatost
A_{12}	rázová houževnatost přepočtená na 12% vlhkost
w	vlhkost
F_{\max}	maximální síla nutná pro porušení vzorku při pevnosti v tlaku podél vláken odečtená ze zkušebního lisu
σ_w	pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
σ_{12}	pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny přepočtená na 12% vlhkost
ρ	objemová hmotnost
V	objem zkušebního vzorku
p	plošný příjem roztoku
k	koncentrace křemičitanu sodného
A	plocha zkušebního vzorku
m_x	hmotnost vzorku po vytažení z křemičitanu sodného a povrchovém osušení
m_0	hmotnost vzorku po vytažení z klimatizované komory
m_1	hmotnost vzorku ve vlhkém stavu
m_2	hmotnost vzorku po vysušení
m	hmotnost vzorku pro stanovení objemové hmotnosti
SEM	skenovací elektronová mikroskopie

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem křemičitanu sodného na vybrané fyzikálně mechanické vlastnosti rostlého dřeva. Dřevo jsem si vybral, protože se jedná o přírodní materiál, který nás provází po celou dobu historie a na dřevě jsme závislí i v dnešní době. V každé domácnosti lze nalézt výrobky ze dřeva. Na každé stavbě hraje dřevo nějakou roli. Dřevo má na rozdíl od ostatních materiálů jednu nespornou výhodu, je totiž obnovitelný materiál. V dnešní době, kdy se dbá na ekologickou nezávadnost, a likvidace stavebních materiálů, kterým skončila životnost je finančně náročná, je dřevo skvělá alternativa. Likvidace není finančně ani ekologicky náročná. Výstavba ze dřeva je rychlá, prvky lze snadno opracovat a nejsou nutné technologické přestávky jako například u betonu.

V této bakalářské práci se budu nejprve zabývat krátkou historií využití dřeva. Poté si ukážeme stavbu dřeva z makroskopického, mikroskopického a molekulárního hlediska. Krátce se podíváme na nejdůležitější vlastnosti dřeva. Následovat budou degradační činitelé, jako jsou degradace vlivem atmosférických vlivů, termické vlivy a v neposlední řadě také biologičtí činitelé. V další kapitole nastíním možnosti ochrany dřeva, jak přecházet degradacím, jak lze dřevo modifikovat, a jaké jsou způsoby ošetření. Předposlední kapitola bude o mineralizaci dřeva, mineralizačních látkách hlavně o křemičitanu sodném. Praktická část je zaměřena na mineralizaci dřeva sodným vodním sklem a posouzení jejího vlivu na mechanické parametry. Z tohoto důvodu popíši přípravu vzorků, druhy zkoušek, které byly provedeny, a následně budu zkoumat, jak se budou měnit zejména mechanické vlastnosti ošetřeného dřeva dle délky mineralizace, a srovnám také naměřené výsledky s referenčními vzorky.

2 Dřevo

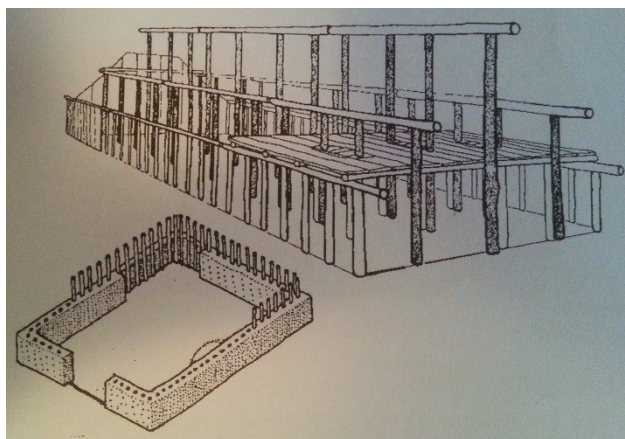
Dřevo je pevné pletivo stonků vyšších rostlin, které označujeme jako dřeviny. Jedná se o přírodní materiál s nejvšestrannějším použitím. Odhady hovoří o využití ve více než 20 000 výrobcích a aplikacích. Z pohledu technologického je dřevo univerzální materiál s širokou škálou opracovatelnosti. Dřevo může být opracováno mechanicky, tepelně, chemicky a dalšími způsoby. Dřevo vyžaduje daleko méně technologické energie než ostatní materiály, 17x méně než ocel a 3x méně než beton a pálená cihla. Dřevo je také výhodné z hlediska relativně nízké energetické náročnosti na těžbu, následné zpracování, dopravu a manipulaci a následně i likvidaci. Dřevo se po skončení živostnosti biologicky rozkládá, recykluje anebo slouží pro výrobu tepelné energie. [3]

Dřevo se řadí od počátku dějin mezi nejstarší a nejoblíbenější materiály. Naši předkové z něj stavěli obydlí, vyráběli nástroje a zbraně a další předměty denní potřeby. Na mnoha místech naší republiky byly nalezeny pozůstatky, které dokazují přítomnost pračlověka (120 000 – 30 000 př.n.l.). Pračlověk neobýval pouze jeskyně, ale stavěl i primitivní obydlí (viz. obr. 1), a to právě ze dřeva. [3]



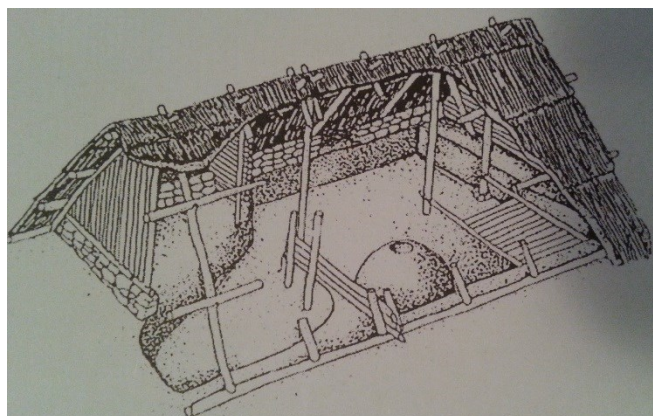
Obr. 1 Kostra chýše pračlověka [4]

První skutečné domy se na našem území začali objevovat až v pozdní době kamenné (5000 – 3000 př.n.l.). Jednalo se o domy s živostností cca 20 let. Nosnou konstrukci domu (viz. obr. 2) tvořila řada 5 kůlů, které byly zaraženy do země, aby podpíraly střechu. Střecha byla tvořena vrcholovou vaznicí, 2 mezilehlými a 2 okapovými vaznicemi a pokryta byla doškami. Uvnitř domu bylo ohniště a stěny byly tvořeny proutěným výpletem. Domy byly poměrně velké, šířka se pohybovala mezi 5,5 až 7 metry, a dosahovaly délky 20 – 45 metrů. [3]



Obr. 2 Konstrukce domu v pozdní době kamenné [4]

V 5. století př.n.l. na naše území přišli Keltové. Ti žili v tzv. opidech, což lze přirovnat k osadě, která byla chráněna kamennými nebo hliněnými valy a palisádou z kůlů. Uvnitř se nacházely obydlí (viz. obr. 3). Domy byly tvořeny dřevěnou nosnou kostrou, která ležela na kamenné podezdívce. Střecha byla sedlová pokryta doškami a vedla až k zemi. Tento typ domů přetrval na vesnicích až do raného středověku. [3]



Obr. 3 Keltské obydlí [4]

V letech 400 – 550 našeho letopočtu se na našem území začali usazovat Slované. Ti stavěli stejná obydlí jako Keltové. Později však začali stavět roubené stavby (viz. obr. 4). Ty vyžadovaly značné množství kulatiny, ale ta byla snadno dostupná. Na pokrytí střech byly používány došky nebo šindele. Některé slovanské roubené domy se zachovaly až do dnešní doby. [3]



Obr. 4 Roubené domy [4]

Dřevo našlo uplatnění v každém architektonickém slohu, v některých více v některých méně. Využití našlo hlavně pro pomocné konstrukce, krovy, stropy podlahy či pro tvorbu doplňků. Na vesnicích to byl jeden z nejdůležitějších stavebních materiálů vůbec. V pozdějších dobách ho začala mírně nahrazovat nepálená hliněná cihla, ale dřevo se využívalo stále. V dnešní době dřevo zase nachází široké uplatnění hlavně v podobě dřevostaveb a pasivních domů, kde na první pohled nelze poznat, že se jedná o dřevostavbu. Využití dřeva závisí především na jeho vlastnostech a ty jsou závislé na stavbě dřeva, a proto bude další podkapitola věnována stavbě dřeva. [3]

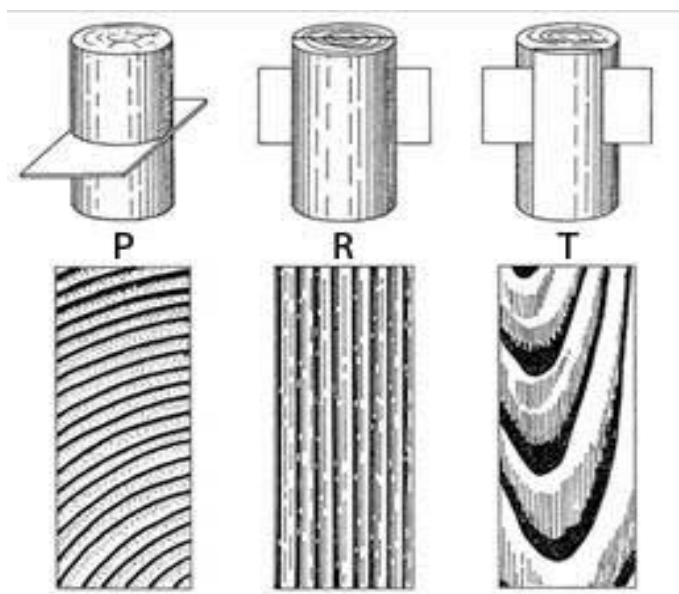
2.1 Stavba dřeva

Zcela klíčovou informací pro hodnocení dřeva je jeho anatomická stavba. Anatomická stavba dřeva určuje z velké části technické vlastnosti dřeva a její znalost je proto nezbytná. Stavbu dřeva můžeme popsat a pozorovat z hlediska makroskopického, mikroskopického, submikroskopického a molekulární. [3]

2.1.1 Makroskopická stavba dřeva

Pro hodnocení anatomické stavby dřeva (viz. obr. 5) využíváme tři základní řezy:

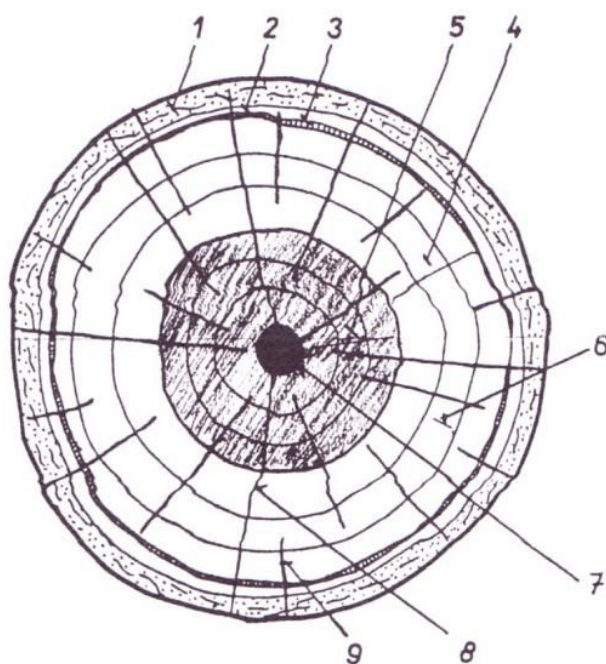
1. příčný – je veden kolmo na podélnou osu kmene,
2. podélný neboli radiální – je kolmý na příčný řez,
3. tangenciální – vede rovnoběžně s podélnou osou kmene, ale neprochází jeho osou. [7]



P= příčný řez, R= radiální řez, T= tangenciální

Obr. 5 Řezy kmenem stromu Zdroj: [7]

Na příčném řezu kmene lze nejlépe pozorovat makroskopickou stavbu dřeva (viz. obr. 6), která je blíže popsána v následujícím textu.



1= kůra, 2= lýko, 3= kambium, 4= běl, 5= jádro, 6= letokruhy, 7= dřev, 8= hlavní dřevňové paprsky, 9= vedlejší dřevňové paprsky

Obr. 6 Příčný řez kmene Zdroj: [3]

Kůra má ochrannou funkci. Chrání kmen proti poškození a změnám teploty. Její tloušťka, vrstvení a zbarvení napomáhají při rozeznávání druhů dřevin, a tím i vlastností dřeva.

Lýko je vrstva, kterou proudí míza (bílkoviny, uhlohydráty a organické látky) z kořenů do korun stromů. Buňky lýka se následně mění v kůru. [3]

Kambium je dělivé pletivo, které umožňuje růst kmene do šířky. Nachází se mezi lýkem a dřevem, kde vytváří okem nerozlišitelnou vrstvu. Přítomnost kambia můžeme dobře pozorovat na jaře, kdy při odstranění kůry a lýka je povrch dřeva pokryt kapalinou, která je zbytkem protoplazmy z porušených kambiálních buněk. [7]

Běl je světlejší část dřeva, která se dotýká kambia. Je typická přítomností živých buněk v dřevňových paprscích a v dřevním parenchymu. Funkce běle spočívá ve vedení vody z kořenů do listů a jehličí, a má za úkol ukládat zásobní látky. Charakteristická šířka běle je pro každý druh dřeviny různá. U některých dřevin zahrnuje pouze několik letokruhů (například akát) a u jiných druhů dřevin až desítky letokruhů (například borovice), nebo celý

průřez kmene (bělové dřeviny – olše a bříza). Běl má menší odolnost proti hnilobě a napadení hmyzem než jádro a vyzrálé dřevo, a někdy má i odlišné fyzikální a mechanické vlastnosti. [7]

Jádro je centrální část kmene, která je tmavěji zabarvená, a od běle se výrazně liší. Jádro neobsahuje živé parenchymatické buňky a jeho vodivé elementy jsou pro vodu neprostupné. Neprostupnost vodivých elementů je zapříčiněna přítomností jádrových látek, které se ukládají v buněčných stěnách i dutinách. U jehličnatých dřevin to jsou pryskyřice a u listnatých dřevin polysacharidy, třísloviny, alkaloidy a jiné látky. Kromě jádrových látek mohou nepropustnost vodivých elementů způsobovat také thyly, zaplňující například cévy listnatých dřevin. Jádro má větší hustotu, tvrdost, je méně náchylné k bobtnání i smrštění a je více trvanlivější než dřevo bělové. Hranice mezi jádrem a bělem může být pozvolná (například ořech) nebo náhlá (tis nebo modřín). [7]

Letokruh je přírůstek dřeviny vytvořený během jednoho vegetačního období. V našich zeměpisných šířkách je to přírůstek za jeden rok. Letokruh vzniká periodickou činností kambia a obklopuje kmen, větve a kořeny. U dřevin v mírném pásmu můžeme letokruhy rozlišit okem nebo lupou. Skládají se ze dvou barevně a texturně rozdílných vrstev jarního a letního dřeva. Dřeviny tropické a subtropické nemají rozlišitelné letokruhy a přírůstková vrstva neodpovídá jednotlivých rokům, ale měnicím se vegetačním obdobím. U dřevin v mírném pásmu počet letokruhů nemusí souhlasit s věkem stromu. Za jistých podmínek může dojít k vytvoření dvou přírůstkových vrstev během jednoho vegetačního období, nebo se přírůstek nemusí vytvořit vůbec, nebo jen v určité oblasti kmene. Zdvojení letokruhu může být zapříčiněno mrazem a výraznými klimatickými změnami. Tyto přírůstky mají na rozdíl od normálních letokruhů menší šířku a méně znatelné ohraničení. Vynechání letokruhu lze pozorovat u špatně vyživovaných či silně zastíněných dřevin. Vynechání letokruhu v určité části kmene může být naopak způsobeno poraněním kmene. [7]

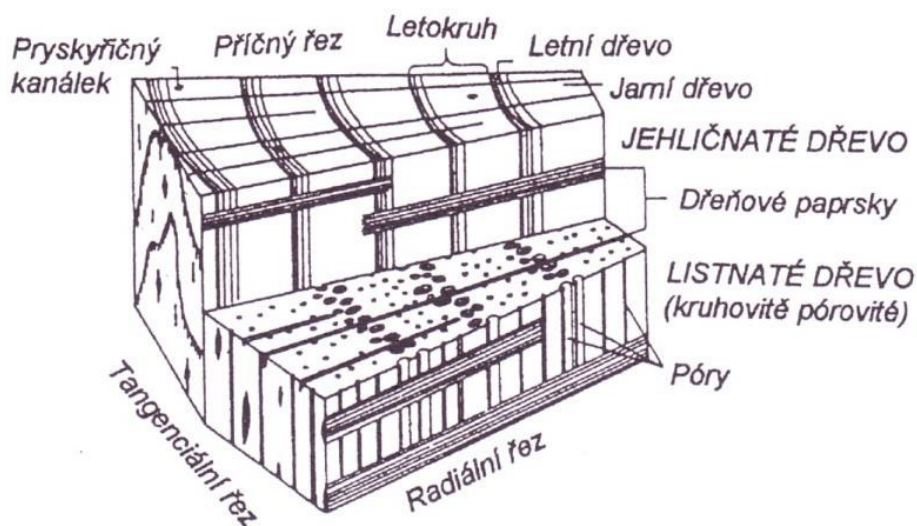
Jarní dřevo narůstá na začátku vegetačního období a u jehličnatého dřeva se pozná na základě buněk se širokými dutinami a úzkými stěnami. Tyto buňky slouží k vedení vody a jsou typické právě velkým průřezem jak buněk, tak i buněčných dutin a tenkými buněčnými stěnami a větším množstvím zúženin. Jarní dřevo u listnatých stromů lze rozeznat podle velkých cév. [3]

Letní dřevo vzniká od konce fáze nejvyššího ročního růstu až do konce vegetačního období a typické pro něj jsou tracheidy s malými a paprskově zploštěnými buněčnými průměry a silné buněčné stěny se zpevňujícím účelem. [3]

Dalším stavebním prvkem jsou cévy, což jsou válcovité prvky různého průměru a velikosti (délky od několika centimetrů až do metrů), mající silné zdřevnatělé stěny. Na příčném řezu se jeví jako póry, na podélném řezu se jeví jako rýhy. [3]

Dřeňové paprsky prostupují ve dřevinách od dřeně až ke kůře a přenášejí živiny v příčném směru do celého stromu. U listnatých dřevin jsou patrné ve všech řezech, ale u jehličnatých nejsou okem viditelné. [3] Dřeňové paprsky ovlivňují vlastnosti dřeva a zapříčiňují rozdílné fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva v tangenciálním a radiálním směru. [7]

Pryskyřičné kanálky jsou úzké, příčné a podélné mezibuněčné prostory, jež jsou vyplněné pryskyřicí a jsou tvořeny systémem buněk, které tuto pryskyřici shromažďují a vylučují. [3] Dle jejich uložení v kmeni rozlišujeme horizontální a vertikální pryskyřičné kanálky, které jsou propojeny do složitějšího systému. [7] Nacházejí se ve dřevě smrku, modřínu, borovice a chybějí v jedli a našich listnatých dřevinách. [3]

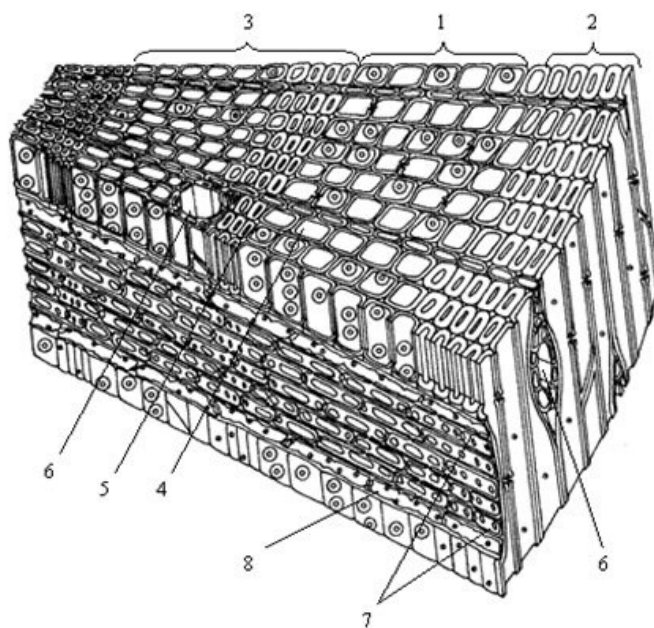


Obr. 7 Schématická stavba dřeva Zdroj: [3]

2.1.2 Mikroskopická stavba dřeva

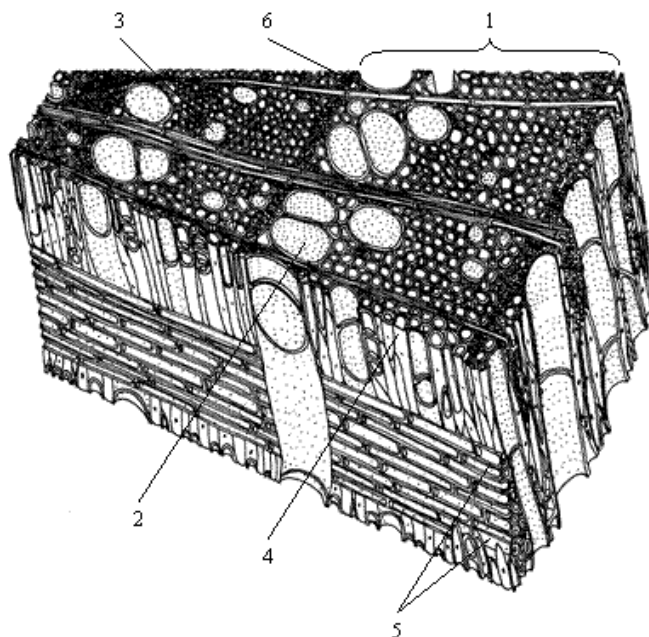
Při umístění dřeva pod mikroskop můžeme zjistit, že se dřevo skládá z buněk různého tvaru a velikosti, které mají i další specifické znaky okem neviditelné (viz. obr. 8 a 9).

Mezi základní druhy buněk řadíme cévní články, tracheidy, libriformní vlákna a parenchymatické buňky. Dle jejich velikosti a uložení je jejich funkce různá ve dřevě živém a dosud rostoucím, nebo ve dřevě neživém, čili odumřelém. Je třeba mít na paměti, že jednotlivé typy buněk se nevyskytují izolovaně, ale vytvářejí převážně homogenní skupiny, které se vyznačují stejnou orientací a specifickým uspořádáním těchto buněk. [3]



1= jarní dřevo, 2= letní dřevo, 3= letokruh, 4=jarní tracheida, 5= letní tracheida, 6= pryskyřičný kanálek, 7= dřeňový paprsek, 8= příčná tracheida

Obr. 8 Anatomická stavba jehličnatého dřeva Zdroj: [7]



1= letokruh, 2= jarní céva, 3= letní céva, 4= libriformní vlákno, 5= dřeňový paprsek, 6= podélný parenchym

Obr. 9 Anatomická stavba listnatého dřeva Zdroj: [7]

Cévní články jsou buňky relativně široké a mají válcovitý tvar. Jejich konce jsou perforovány, aby byl umožněn kontakt se sousedními cévními články. Styk s buňkami obklopujícími cévní články na jejich podélných stranách obstarávají ztenčeniny buněčných stěn. V některých dřevinách se vyskytuje na vnitřním povrchu závitnicová výztuha, u jiných druhů dřevin se v cévních člancích vyskytují blanité přepážky neboli thyly, které uzavírají buněčnou dutinu cévního článku. Cévní články jsou součástí pouze listnatých dřevin. [3]

U jehličnatých dřevin je základním stavebním prvkem, který tvoří 95 % objemu kmene, stejnorodá dlouhá buňka – tracheida. Vyskytuje se však i u listnatých druhů dřeva. Jedná se o protáhlé buňky mající čtvercovitý průřez se zakulacenými rohy, délky 2-5 mm, šířky 10-50 mikrometrů, a se zploštělými či zužujícími se uzavřenými konci. Tracheidy vytváří radiální řady a jsou rovnoběžné s podélnou osou kmene. Při přechodu z jarního dřeva do letního, stěny buněk zesilují, avšak průměr buněk se zmenšuje a délka buněk se prodlužuje. Tímto vlivem vzniká rozdílná hustota jarního a letního dřeva v poměru cca 1:3. Struktura dřeva obsahuje i radiálně orientované tracheidy, které v určitých intervalech přerušují podélné tracheidy a umožňují, zejména u jehličnatého dřeva, radiální rozvod živin. Příčné tracheidy mají menší délku než podélné tracheidy a dosahují délky kolem 0,1-0,2 mm.

Tracheidy, jak již bylo naznačeno, slouží k vedení vody a živin. Výměna látek mezi buňkami je umožněna ztenčeninami ve stěnách buněk – tzv. tečkami. V případě jehličnatého dřeva je převládajícím typem dvojtečka. Thyly se v tracheidách nevytváří, ovšem mohou se vyskytovat závitnicové výztuhy na vnitřním povrchu stěn zejména u dřev, které je obsahují i v cévních člancích. [3]

Libriformní vlákna jsou dlouhé a tenké, obvykle poměrně tlustostěnné buňky vřetenovitého tvaru, tvoří hlavní podíl dřevní hmoty listnatých dřevin, v průměru 50-60%. U jehličnatých dřevin se nevyskytují. Libriformní vlákna mají ve dřevě mechanickou funkci. Na jejich stěnách lze pozorovat jednoduché jemné ztenčeniny. Délka těchto buněk je různá v rámci letokruhu, nejkratší v jarním dřevě a nejdelší v letním dřevě. [3]

Parenchymatické buňky mají odlišný charakter od všech dříve zmiňovaných buněčných typů. Mají krychličkovitý až protáhlý nebo i nepravidelný hranolkovitý tvar. Jsou poměrně tenkostěnné s širokou buněčnou dutinou. Ve stěnách parenchymatických buněk je velké množství jednoduchých ztenčenin, které slouží k vedení a ukládání živin. Dosahují délky 0,1-0,2 mm a tloušťka se pohybuje od 0,01-0,05 mm. [3]

Shromažďováním buněk stejného druhu vznikají pletiva. Jde hlavně o shromažďování cévních článků v cévy a vodivá pletiva, často za přítomnosti tracheid. Dále se může jednat o seskupení tracheid, parenchymatických buněk v parenchym a vláknitých buněk v libriformy (tzv. dřevní vlákno). Vzniklá pletiva se podle funkce označují jako vodivá, zásobní a mechanická. Pletiva jsou orientována podélně vzhledem k ose kmene. Ve dřevě jsou však i dřeňové paprsky – pletiva skládající se z větší části z horizontálně uspořádaných parenchymatických buněk. [3]

Z výše uvedeného vyplývá, že fyto geneticky složitější listnatější dřevo má také složitější a rozmanitější stavbu než dřevo jehličnaté. Nosné tkanivo listnáčů tvoří libriformní vlákna a vláknité tracheidy. V tkanivu rozeznáváme vodivé cévy kruhovitě nebo rozptýleně. Dřevní vlákna listnáčů mají menší dutiny a tlustší buněčné stěny než jehličnaté druhy dřeva. Tloušťka stěn a průměr dutin není v jarním a letním dřevě u listnáčů tak výrazná jako u jehličnanů. Parenchymatických buněk je u listnáčů větší množství než u jehličnanů. Listnaté druhy dřevin mají obvykle výrazné dřeňové paprsky. [3]

Mikroskopická stavba dřeva určuje fyzikální a mechanické vlastnosti a je podkladem pro anatomické rozpoznání dřeva. [3]

2.1.3 Submikroskopická stavba dřeva

Chemické prvkové složení dřeva je prakticky totožné pro všechny druhy dřevin:

- 49,5 % uhlík,
- 44,2 % kyslík,
- 6,1 % vodík,
- 0,2 % dusík atd.

Výše uvedené prvky tvoří řadu složitých organických sloučenin:

- celulózu – 40-50 % hmotnosti,
- hemicelulózu – 20-30 % hmotnosti,
- lignin – 25-30 % hmotnosti,
- a další doprovodné látky například éterické oleje, alkoholy, barviva, minerální sloučeniny – 0-10 %. [3]

Celulóza je základní stavební jednotkou buněčné stěny, tvoří kostru zdřevnatělých buněčných stěn a její zastoupení ve dřevě není rovnoměrné. [7] Celulóza je polysacharid. Makromolekula celulózy je lineární a homogenní. Volné prostory mezi mikrofibrilami jsou schopny pojímat malé molekuly, důsledkem čehož dochází k bobtnání dřeva. Celulóza je relativně málo reaktivní složka dřeva. Má vysokou pevnost v tahu srovnatelnou s běžnou ocelí. Modul pružnosti podél celulózových řetězců dosahuje až 130 GPa, modul pružnosti kolmo k ose vláken dosahuje cca 30 GPa. [3]

Hemicelulóza je také polysacharid s kratšími řetězovými heterogenními lineárními makromolekulami. Na rozdíl od celulózy má nižší relativní molekulovou hmotnost, je méně chemicky odolná a lze ji snadněji hydrolyzovat. Vyšší obsah hemicelulózy je u listnáčů než u jehličnanů. Hemicelulóza vytváří spojovací můstek mezi celulózou a ligninem. [3]

Lignin je makromolekulární látka, jedná se o amorfní polymer s modulem pružnosti kolem 2000 MPa. Makromolekuly jsou velké trojrozměrné a velice reaktivní. Lignin zajišťuje pružno-plastické vlastnosti dřeva a taktéž zabezpečuje zdřevnatění buněčných stěn. [3] Obsah ligninu v jehličnatých dřevinách je vyšší než u listnáčů. [7]

Hemicelulóza a lignin výrazně ovlivňují tlakovou pevnost dřevních vláken. Při snížení obsahu těchto látek dochází ke snížení této pevnosti dřeva. [3]

Vedlejší složky dřeva obvykle nejsou součástí buněčných stěn, avšak významně ovlivňují fyzikální vlastnosti dřeva, zejména zvyšují hustotu dřeva. Jejich obsah ve dřevě se pohybuje od 2-10 % z hmotnosti dřeva a dají se extrahovat různými rozpouštědly. Obsah těchto látek je v tvrdém jádrovém dřevě vyšší. Jejich složení a množství je různé pro jednotlivé typy dřevin, záleží také na stáří, umístění ve kmeni a vliv na toto složení má i lokalita. Anorganické látky tvoří zhruba 0,5-1 % vedlejších složek. Hlavní zastoupení mají soli Ca, K, Mg, Na, Mn. Organické látky obsažené ve dřevě jsou např. škrob, rostlinné gumy, alkoholy, bílkoviny, tuky a vosky. [3]

2.1.4 Anatomická stavba dřeva

Definuje stavbu buněčných stěn z hlediska její vrstevnatosti, podílu a způsobu umístění stavebních polymerů. Anatomická stavba dřeva závisí na typu buněk a druhu dřeva. Základní stavební jednotkou buněčných stěn dřeva jsou elementární fibrily, které jsou tvořeny 40 makromolekulami celulózy. Mikrofibryly jsou tvořeny 20-60 elementárními fibrilami a s minimálním podílem hemicelulózy a ligninu. Z mikrofibril a makrofibril se vytvářejí substanční lamely. Ty jsou základním stavebním materiálem pro buněčné stěny. [7]

2.2 Vlastnosti dřeva

Dřevo je materiál s vysokou variabilitou vlastností. Variabilitu vlastností způsobuje mnoho faktorů. Mezi nejhlavnější lze zařadit druh dřeviny, ale i lokalitu, ve které dřevina rostla. Velký vliv má i půda, podnebí, nadmořská výška, roční období, ve kterém byl strom pokácen a i způsob a kvalita jeho zpracování. Pokud máme na mysli dřevo jako konstrukční materiál, hovoříme převážně o rostlém dřevě, které je získané výřezem z kmene jehličnaté nebo listnaté dřeviny. [3]

Dřevo má vzhledem k orientaci vláken značně anizotropní vlastnosti. Vlastnosti rovnoběžně s vlákny jsou velice odlišné od vlastností sledovaných kolmo k vláknu. Největší pevnosti a tuhosti a nejmenší deformace, způsobené vlivem vlhkosti a teploty, má dřevo ve směru rovnoběžném s vlákny. Vlastnosti dřeva, které následně ovlivňují chování dřevěných prvků a konstrukcí, lze dělit na fyzikální a mechanické. [3]

2.2.1 Fyzikální vlastnosti

Významnou fyzikální vlastností dřeva je vlhkost. Vlhkost výrazně ovlivňuje pevnostní charakteristiky dřeva i jeho trvanlivost. Mezi další významné fyzikální vlastnosti náleží objemová hmotnost a hustota dřevní hmoty. [3]

Vlhkost dřeva

Dřevo přijímá vlhkost z okolního prostředí, přičemž je schopné přijímat i uvolňovat vodu ve formě páry i kapaliny. Vlhkost nám udává poměr množství vody k množství sušiny dřevní hmoty a lze ji tak uvádět buď jako vlhkost hmotnostní nebo objemovou. Dále lze u dřeva rozlišovat vázanou vodu v buněčných stěnách a volnou v buněčných dutinách. [3]

Čerstvě pokácené dřevo má v průměru zhruba 80-120 % vlhkosti (liší se dle druhu dřeviny a doby kácení), ovšem po pokácení začíná dřevo ihned vysychat. Při uložení na vzduchu a vyschnutí se vlhkost dřeva pohybuje kolem 20 %. Dále je známo, že v rámci jednoho dřevěného prvku může mít bělové dřevo mnohonásobně větší vlhkost než vyvrálé jádrové dřevo. [3]

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost, neboli hustota dřeva, (viz. tab. 1) je proměnná veličina, která závisí na množství vody, které dřevo obsahuje, ale i na dalších faktorech. Objemová hmotnost je nejdůležitější fyzikální vlastností dřeva. Většina mechanických vlastností i únosnost spojů je korelována s objemovou hmotností. Objemovou hmotností dřeva je myšleno hmotnost m^3 dřeva při dané vlhkosti. Objemová hmotnost se zásadně mění vlivem změn vlhkosti. [7]

Tab. 1 Objemové hmotnosti dřeva, Zdroj:[6]

Dřevina	Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu	Příklady stromů
velmi lehká	do 400 kg/m ³	topol, vejmutovka
lehká	400 - 500 kg/m ³	jedle, smrk
mírně těžká	500 - 600 kg/m ³	modřín, mahagon
středně těžká	600 - 700 kg/m ³	dub, buk
těžká	700 - 1000 kg/m ³	akát, habr
velmi těžká	nad 1000 kg/m ³	eben

Hustota

Hustota, konkrétně hustota dřevní hmoty, je cca 1500 kg/m^3 . Jelikož vychází z hustoty jednotlivých chemických složek dřeva, je v podstatě pro všechny dřeviny stejná. Hustota stanovuje objem pouze vlastní látky bez dutin, pórů a mezer. [3]

2.2.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva vystihují jeho schopnost odolávat vnějšímu zatížení. Je nutné rozlišovat vlastnosti bezvadého dřeva a dřeva konstrukčního. Vlastnosti bezvadého dřeva jsou značně anizotropní a tato anizotropnost je u konstrukčního dřeva ještě umocněna vlivem růstových nepravidelností, rozměry prvku, vlhkostí, teplotou, charakterem zatížení, vlivem prostředí atd. Vlastnosti dřeva se také značně liší s druhem dřeviny a značné rozdíly najdeme i v rámci letokruhu. Rozdíly jsou hlavně v jarním a letním dřevě. Mechanické vlastnosti se určují pomocí zkoušek, orientačně je lze odečíst i z tabulkových hodnot (viz. tab. 2). [3]

Tab. 2 Pevnostní charakteristiky dřeva Zdroj:[12]

Označení	Veličina	Jehličnaté a topolové dřevo												Listnaté dřevo					
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
N/mm ²																			
$f_{m,k}$	Ohyb	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	Tah rovnoběžně s vlákny	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	Tah kolmo k vláknům	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Tlak rovnoběžně s vlákny	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	Tlak kolmo k vláknům	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
$f_{v,k}$	Smyk	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
kN/mm ²																			
$E_{0,mean}$	Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
$E_{0,05}$	5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
$E_{90,mean}$	Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,64	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
G_{mean}	Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
kg/m ³																			
ρ_k	Hustota	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
ρ_{mean}	Průměrná hodnota hustoty	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080

2.2.3 Další důležité vlastnosti dřeva

Tepelné vlastnosti dřeva

Mezi hlavní tepelné vlastnosti řadíme tepelnou vodivost a teplotní délkovou roztažnost.

Dřevní hmota má malou tepelnou vodivost. Tepelná vodivost dřeva je v důsledku nízké objemové hmotnosti a pórovitosti nízká. Ve směru vláken a kolmo k vláknům je však tepelná vodivost rozdílná. Ve směru vláken je dřevo 2x vodivější než kolmo na vlákna. Tepelná vodivost také roste s objemovou hmotností a také s vlhkostí. [3]

Teplotní délková roztažnost je v tomto případě nižší než u kovů a betonů. Pro smrkové dřevo podél vláken je teplotní délková roztažnost $6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ a kolmo k vláknům $34 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. [3]

Elektrické vlastnosti dřeva

Vysušené dřevo je dobrý izolant. Měrný elektrický odpor je nejmenší ve směru rovnoběžném s vlákny. Ve směru kolmo k vláknům je přibližně dvojnásobný. Elektrický odpor dřeva je nepřímo úměrný teplotě a vlhkosti. Jelikož elektrický odpor významně reaguje na změny vlhkosti, je tento jev využíván v elektrických odporových vlhkoměrech. [3]

Akustické vlastnosti

Mezi akustické vlastnosti můžeme zahrnout zvukovou vodivost, pohltivost a průzvučnost.

Rychlost podélných mechanických vln je podél vláken 5 000 m/s u jehličnanů a 3 500 m/s u listnáčů. Zvuková pohltivost dřeva je cca 50 % dopadající energie. Zvuková propustnost je přímo úměrná hmotnosti materiálu. [3]

3 Degradace dřeva

Dřevo jakožto přírodní materiál podléhá různým druhům degradace, které mohou vést až k jeho úplnému zničení. Mezi hlavní příčiny poškození patří atmosférické a biologické vlivy. V následující kapitole se podíváme na některé druhy degradace podrobněji. [7]

3.1 Degradace vlivem povětrnostních vlivů

Atmosférická koroze dřeva je přirozené stárnutí dřeva. Vzniká ve vnějším prostředí vlivem mnoha abiotických činitelů (voda, vlhkost, teplota, atd.). Koroze probíhá nepřetržitě větší nebo menší intenzitou v závislosti na vlhkostních, světelných, tepelných a jiných podmínkách. Intenzita koroze je výraznější ve vnějším prostředí, protože je dřevo vystaveno změnám počasí v průběhu roku. Atmosférickou korozi dřeva vyvolává více činitelů:

- činitelé hmotného charakteru:
 - agresivní plyny, emise,
 - prach, písek,
 - voda,
 - kyslík,
 - vodné i jiné roztoky chemicky agresivních látek,
- vlivy energetických polí:
 - teplo,
 - sluneční záření (viditelné, infračervené, ultrafialové, i další spektra slunečního záření),
 - proudění laminární a turbulentní, působí v synergickém účinku, a tím se degradační efekt násobí. [5]

Rozhodující vliv na stárnutí dřeva má ale voda, což je možné vidět v tabulce 3, a dále také sluneční záření. Emise, prach, kyslík, proudění látek okolo dřeva a jiné faktory primární účinky degradace ještě zvětšují. Při takovém procesu stárnutí dřeva jsou vytvořeny i vhodné podmínky pro biologické škůdce a to v důsledku depolymerizace ligninu a hemicelulózy. Proces atmosférické koroze dřeva lze rozdělit do následujících fází:

- degradace ligninu a částečně i hemicelulózy vlivem slunečního záření,
- vyluhování ligninu a hemicelulózy vodou,

- mechanické vytrhnutí volných fibril celulózy ze dřeva, ke kterému dochází vlivem působení písku, prachu nebo z důvodu proudění vody nebo vzduchu. [5]

Tab. 3 Druhy vod a jejich vliv na degradaci Zdroj:[5]

Charakteristika vody	Účinek vody na dřevo
• Polární látka	- dobře smáčí polární povrch dřeva, - snadno proniká do polární pórovito-kapilární struktury dřeva, a to díky kapilárním silám a chemickému potenciálu, - rozpouští a ze dřeva vyplavuje polární extraktivní látky, ale i polární depolymerizované složky ligninu a polysacharidů vytvořené při fotodegradacích a jiných procesech.
• Absorpce a desorpce	- pracování dřeva - tvorba trhlin na povrchu dřeva - tvarové deformace dřeva Voda se v buněčných stěnách absorbuje a tím stěny bobtnají nebo se ze stěn desorbují. Vlhkostní napětí a povrchové trhliny jsou často důsledkem vlhkostních spádů mezi vnitřními a vnějšími zónami dřeva při nerovnoměrném rozložení vázané vody v průřezu dřeva. Při překročení lokálních mezí napětí dochází ke vzniku mikro a makro trhlin a vznikají trvalé tvarové deformace.
• Led	- tvorba napětí a trhlin Při teplotách bod bodem mrazu se objem vody ve dřevě zvětšuje. Volná voda v lumenech buněk se mění na led. Hygroskopicky vázaná v buněčných stěnách zůstává kapalná i při teplotách pod 0°C. Krystalizace vázané vody se potlačuje v důsledku molekulárního rozvrstvení v buněčných stěnách a také v důsledku její interakce s OH skupinami složek dřeva. V mokřém dřevě s vysokým obsahem volné vody se při silných mrazech vytvářejí větší trhliny. Tyto mrazové trhliny vznikají převážně při nerovnoměrném zamrzání povrchových a vnitřních oblastí dřeva, nejčastěji v důsledku napětí vznikajících při odlišném nárůstu objemu dřeva v povrchové a středové zóně.
• Molekuly vody	- hydrolytické reakce, zvláště s polysacharidy dřeva Hydrolýza komponentů dřeva při působení čisté studené vody je zanedbatelná. K hydrolýze polysacharidů musí být přítomen i vhodný katalyzátor organické nebo anorganické kyseliny. K hydrolýze je nejnáchylnější hemicelulóza, zejména její acetylové skupiny, ze kterých se vytváří kyselina octová. Větší změny ve struktuře a vlastnostech dřeva vlivem studené čisté vody je možné sledovat až po dlouhé době, jako je tomu u subfossilního a fossilního dřeva. S nárůstem teploty se hydrolytické reakce urychlují.

Povrch dřeva vystavený slunečnímu záření v průběhu času mění svůj vzhled. Světlé dřeviny jako javor, buk nebo habr často tmavnou. Tmavnou z důvodu chemických reakcí ligninu, které jsou vyvolané UV zářením. Když současně působí i déšť, dřevo zešediví, protože se ze dřeva vyplaví tmavé produkty pocházející z ligninu. Sluneční záření, voda

ale i kyslík je pro erozi rozhodující. Vliv ale má i teplota nebo proudění vzduchu. Při zvýšení teploty se zlepšuje rozpustnost fotochemicky narušených složek dřeva a vodou se snáze vyluhují. Zvýšením rychlosti proudícího vzduchu se zvyšuje intenzita odtrhávání fibril celulózy z fotochemicky oslabeného povrchu dřeva. Intenzita eroze se liší i podle druhu dřeviny, podle klimatických podmínek v místě uložení, i podle stavebního využití. Eroze je z materiálového hlediska nejvíce ovlivněna hustotou dřeva a tloušťkou buněčných stěn, přičemž roste lineárně s klesající hustotou dřeva v intervalu 300 – 1000 kg/m³. Vliv na erozi mají i jiné strukturální charakteristiky dřeva například:

- větší podíl ligninu v jehličnatých dřevinách → eroze probíhá rychleji,
- výraznější rozdíly v hustotě jarního a letního dřeva jehličnatých dřevinách → nerovnoměrnost eroze a typický erozní profil,
- různé sesychání buněčných elementů,
- druh a množství extraktivních látek → specifické barevné změny.[5]

3.2 Degradace vlivem termických účinků a ohně

Neošetřené dřevo je dobře hořlavý materiál. Příčinou jeho hoření je jeho chemické složení. Dřevo obsahuje 49-51 % uhlíku, 43-44 % kyslíku a 6-7 % vodíku. Vysoký obsah energie ve dřevě, který se nahromadil v průběhu fotosyntézy a v návazných endotermických reakcích se může zpětně uvolnit vlivem tepelné aktivace. Termická degradace dřeva je soubor chemických reakcí způsobený ohřevem dřeva. Při teplotách menších než 66 °C se tyto reakce prakticky neuskutečňují. Při teplotách od 66°C do 110°C se některé reakce uskutečnit mohou, ale záleží na době ohřevu dřeva. Tato teplota nemá žádný nebo jen zanedbatelný dopad na strukturu nebo vlastnosti dřeva. K většímu termickému narušení dochází až při teplotách nad 150°C, kdy se nejdříve rozkládá hemicelulóza, poté celulóza a nakonec i lignin. Hemicelulóza se rozkládá už při teplotě menší než 200°C, ovšem k výrazným exotermickým efektům dochází při teplotách vyšších než 200°C. Celulóza se výrazně depolymerizuje při teplotě nad 300°C, za vzniku levoglukózanu, který se poté mění na hořlavé plyny. Lignin se výrazněji rozkládá až při teplotě nad 300°C. Při těchto teplotách dochází ke štěpení různých vazeb. Například vazeb éterových alkyl-arylových. [5]

Při termickém rozkladu dřeva má významnou roli kyslík. Kyslík snadno reaguje s termicky aktivovanými složkami dřeva. Dřevo se tak ještě více ohřívá, tvoří se v něm nové volné radikály a vznikají z něj plynné hořlavé produkty. V nejhorším případě hořlavé plyny

při reakci s kyslíkem vytvoří takové množství tepla, které je dostatečné pro samovznícení a dřevo začne hořet. Termický rozklad dřeva může probíhat různou intenzitou a různou formou s různými dopady na jeho strukturu a vlastnosti. Dřevo se v přítomnosti kyslíku zapálí, když se v jeho blízkosti nachází vhodný tepelný zdroj s dostatečným výkonem. Při sálavém ohřevu musí být teplota asi o 100-150 % větší než v případě plamenů. Teplota pro zapálení dřeva se pohybuje od 200°C po 400°C, na teplotu potřebnou pro zapálení má vliv více faktorů:

- délka ohřevu – teplota pro zapálení se snižuje s délkou ohřevu,
- vlhkost dřeva – vlhké nebo mokré dřevo se zapaluje hůře než dřevo suché, protože kapalná voda zvětšuje tepelnou vodivost dřeva, a tím odvádí teplo z povrchu do vnitřních zón; dále také při ohřevu vzniká pára, čímž dochází ke spotřebovávání tepla na fázové přeměny; a parou se navíc ředí i hořlavé plyny,
- poměr povrchu dřeva k jeho objemu - dřevo s větším povrchem než je jeho objem se snáze zapálí, protože tvarově menší dřevo s menší šířkou se snáze prohřeje a vzplane,
- drsnost povrchu dřeva - výrobky s drsnějším povrchem a s větší kontaktní plochou se zapálí rychleji než hladce opracované dřevo,
- hustota dřeva - dřevo s větší hustotou se zapálí obtížněji, protože s hustotou roste tepelná vodivost, a tím probíhá intenzivnější odvod tepla z povrchu do vnitřních zón, s nárůstem hustoty a snížením pórovitosti klesá i podíl kyslíku v dřevě. [5]

3.3 Degradace dřeva vlivem agresivních chemikálií

Chemická koroze dřeva je způsobena různými druhy agresivních chemikálií. Jedná se především o zásady, kyseliny, jejich soli a oxidační látky. Do kontaktu s dřevem se dostávají ve formě plynů, kapalin, solí nebo past. K poškození dřeva dochází buď přímo, kdy látky reagují s jeho komponenty, nebo nepřímo, kdy katalyzují degradační reakce. Přímé i nepřímé účinky agresivních chemikálií na dřevo a složky dřeva závisí na jejich typu, koncentraci, teplotě a času jejich působení. [5]

Kyselina sírová, chlorovodíková nebo dusičná degraduje dřevo již při pokojové teplotě v krátkém časovém intervalu. Solemi kyselin se polysacharidy dřeva hydrolyzují pomaleji, příkladem toho může být poměrně dlouhá koroze dřeva částečně zabudovaného do země.

Stupeň poškození dřeva chemikáliemi závisí i na vlhkosti. Například agresivní plyny, jako oxid siřičitý nebo amoniak, poškozují dřevo intenzivněji při vyšší vlhkosti. [5]

Obecně platí, že intenzita chemické degradace dřeva narůstá se zvýšením teploty, koncentrací chemikálií, s časem jejich působení, i se zvýšenou permeabilitou dřeva a vyšším podílem jeho čelních ploch. Chemické degradaci lépe odolává dřevo z jehličnatých stromů než dřevo z listnatých stromů, což může být zdůvodněno těmito faktory:

- dřevo většiny listnatých stromů má lepší propustnost pro kapaliny a plyny (například topol, habr, bříza i jiné druhy dřevin, ale ne jádro akátu nebo dubu),
- dřevo listnatých stromů obsahuje relativně vysoký podíl hemicelulózy, které se po chemické stránce řadí mezi nejnáchylnější komponenty dřeva, hlavně vůči hydrolýze,
- dřevo jehličnatých stromů obsahuje větší podíl ligninu, který je poměrně odolný vůči bezkyslíkatým chemikáliím. [5]

3.4 Degradace vlivem biologického napadení dřeva

K napadení dřeva biologickými škůdci je zapotřebí vytvoření vhodných podmínek zajištěných čtyřmi hlavními faktory:

- teplo,
- kyslík,
- výživný substrát,
- dostatečná vlhkost.

U dřeva, které má vlhkost trvale nižší než 18 % zpravidla nedochází k jeho napadení dřevokaznými houbami. U dřeva, které má vlhkost trvale nižší než 10 % zpravidla nedochází ani k jeho napadení dřevokazným hmyzem. [5]

V konstrukcích, které jsou správně navrženy a jsou bez závad, je vlhkost dostatečně nízká, aby nedošlo k jeho napadení biologickými činiteli. Aby dřevo bylo napadeno, musí být konstrukce zvlhčena libovolným zdrojem vlhkosti. Kyslík získávají škůdci ze vzduchu, a tudíž je ho ve dřevě vždy dostatek, pokud není dřevo trvale umístěno pod vodou. Také teplota je na našem území většinu roku vyhovující a výživným substrátem je napadené dřevo. Za nejběžnější příčiny zvýšené vlhkosti a následného napadení dřeva biologickými škůdci

lze považovat nadměrnou vlhkost dřeva při zabudování do konstrukce nebo jakékoliv dodatečné zvlhčení materiálu. To je nejčastěji způsobeno těmito vadami a poruchami:

- porušení izolace,
- zatékání střechou,
- nedostatečně větraný prostor,
- kondenzace par a vytvoření skleníkového prostředí,
- vzlínání vody,
- nedostatečně provedená sanace.

Zarážející je skutečnost, že k napadení dřeva dochází cca v polovině případů u nově provedených stavebních konstrukcí. Rekonstrukce nebo výstavba na stávajících konstrukcích by neměla být zahájena bez dokonale provedeného průzkumu. Odborná prohlídka dřevěné konstrukce a aplikace ochranných prostředků jsou z hlediska celkových nákladů zanedbatelné, a proto bychom tyto věci neměli opomínat. [5]

Plísně a dřevo zbarvující houby jsou škůdci, kteří neovlivňují pevnostní parametry dřeva. Tito škůdci způsobují zbarvení dřeva a indikují zvýšenou vlhkost, čímž avizují i riziko následného napadení dřeva dřevokaznými houbami. Některé druhy plísní mají toxické a případně i karcinogenní účinky. Nejznámějšími zástupci této skupiny hub jsou houby z rodu *Ophiostoma* a *Ceratostomella*, které způsobují modráni jehličnatého dřeva. Jiné houby mohou zabarvovat dřevo do šeda, červena, žluta nebo zelena. [5]

Škůdci, kteří nejčastěji zapříčiňují destrukci dřeva, jsou dřevokazné houby. Tyto škůdce je možno dělit do dvou skupin, na houby ligninovorní a celulózožovorní. První skupina dřevokazných hub silně rozkládá lignin a prakticky současně rozkládá i celulózu (ovšem v menší míře), této destrukci se říká bílá hniloba. Druhá skupina hub rozkládá celulózu, ale lignin nechává nepoškozený nebo jen zanedbatelně změněný. Tuto destrukci nazýváme hnědou hnilobou. [5]

Celulózožovorní houby (hnědá hniloba) zapříčiňují kostkovité rozpadání, dřevo poté pomalu hnědne, je křehké, praská, má příčný, hladký a matně lesklý lom. Tuto formu degradace způsobuje trámovka jedlová a plotní, dřevomorka domácích, pornatka oparová a outkovka řadová. Naopak ligninovorní houby (bílá hniloba) zapříčiňují vznik děr a dutin, které je zanedlouho možno vidět i pouhým okem. K ligninovorním houbám náleží například choroš šupinatý nebo troudnatec kopytovitý. [5]

3.4.1 Zástupci dřevokazných hub

Dřevomorka domácí (obr. 10) je nejznámější a nejnebezpečnější houba. Dřevomorka má nahnědlou barvu, na okrajích je zbarvena bíle. Nejčastěji se nachází v obytných prostorách, na půdách a ve sklepech. Tato houba napadá části nosné konstrukce, například krokve, trámy, pozednice či podlahová prkna, ale i okenní rámy, parkety, nábytek nebo zárubně dveří. Může prorůst i zdivem, a tím se rychle šíří celou budovou. Kromě rychlosti destrukce je nebezpečná i tím, že vlhkost potřebuje jen v počátcích svého vývoje, pak ji vytváří metabolickým procesem na substrátu sama. [2]



Obr. 10 Dřevomorka domácí Zdroj: [4]

Pornatka oparová (obr. 11) je houba podobná dřevomorce. Má čistě bílé plodnice i podhoubí. Bílé jsou i provazce, které se liší od provazců dřevomorky tím, že jsou pružné i za sucha. Pornatka prorůstá zdivem a může způsobovat škody, které se vyrovnají destrukční činnosti dřevomorky. [2]



Obr. 11 Pornatka oparová Zdroj: [17]

Trámovka plotní (obr. 12) a trámovka jedlová jsou houby, které napadají převážně jehličnaté dřevo. Napadají mostní konstrukce, dřevo uložené na skládkách, mohou ničit i dřevěná zábradlí, ploty a často se vyskytují i na střešních konstrukcích. Podhoubí těchto hub roste hlavně uvnitř dřeva. Prvek se může na první pohled jevit jako zcela zdravý, uvnitř přitom může být degradovaný. Tyto dvě houby potřebují vyšší vlhkost, a proto při snížení nebo zastavení přísunu vlhkosti tyto houby přestanou růst a ve většině případů odumírají. Typickým rysem je plodnice vyrůstající ze štěrbin a rezavo-hnědá barva. [2]



Obr. 12 Trámovka plotní Zdroj: [2]

Outkovka řadová (obr. 13) je houba, která poškozuje dřevo jehličnatých stromů. V mládí má bílé plodnice, později smetanový nádech, případně okrově žluto hnědou barvu. Podhoubí penetruje hluboko do dřeva, zpočátku působí mírně, později způsobuje intenzivní hnědou hnilobu dřeva. Tato houba se často vyskytuje v důlních dílech nebo tunelech. Ostatní druhy outkovek (např. pásová, chlupatá, dubová a jiné), způsobují bílou hnilobu a to převážně u listnatých dřevin přímo v lese. [2]



Obr. 13 Outkovka řadová Zdroj: [20]

3.4.2 Dřevokazný hmyz

Významným biologickým činitelem je také dřevokazný hmyz, kterého existuje mnoho druhů. Tito škůdci se mohou vyskytovat na skládce dřeva, na živých stromech, na konstrukčním dřevě nebo na výrobcích ze dřeva. V této bakalářské práci se budeme věnovat jen nejběžnějšímu dřevokaznému hmyzu, které napadá dřevo zabudované v konstrukcích a to v našich klimatických podmínkách. K těmto škůdcům můžeme zařadit hlavně tesaříky, červotoče, pilořitku nebo hrbohlava parketového. Nebezpečnost těchto škůdců je v tom, že mohou působit ve dřevě po dobu více generací. V tomto důsledku dochází ke snížení fyzikálních a mechanických vlastností dřeva a ke změně vzhledu. Dřevo napadené hmyzem se také často stává vhodným substrátem pro dřevokazné houby. [2]

Dřevokazný hmyz má dvě stádia. Samička klade vajíčka do dřeva, z nich se za několik dní vylíhnou larvy. Larvy vytvářejí ve dřevě chodbičky, které mají různé velikosti i tvar, a jsou vyplněny jemnými pilinami. Stádium larvy trvá pár let, obvykle jeden až tři roky, v některých případech i pět a více let, v závislosti na druhu hmyzu a klimatických podmínkách. Když larva dosáhne dospělosti, tak se zakuklí, několik týdnů se vybarvuje, až se z ní vyvine dospělý brouk. Život brouka trvá pouze několik týdnů, jeho jedinou úlohou je založit novou generaci. Z tohoto můžeme odvodit, že hmyz škodí dřevu zejména ve stádiu larvy. [2]

Tesařík krovový (obr. 14) je brouk, který má v dospělosti hnědé až černé zbarvení. Sameček dosahuje velikosti sedm až sedmáct milimetrů a samička jedenáct až dvacet dva milimetrů. Vývojový cyklus trvá zhruba tři až pět let. Brouci dobře létají a napadají dřevo v blízkém okolí. Výletové otvory mají eliptický tvar a rojení probíhá v květnu až srpnu.

Tesařík krovový napadá převážně prvky větších průřezů. Ve dřevu menších rozměrů totiž nemá jeho velká larva vhodné životní podmínky. Kromě tesaříka krovového existuje ještě přibližně 15 druhů tesaříků. Tyto druhy však nepatří v našich podmínkách mezi významné škůdce, tedy až na tesaříka fialového. [2]



Obr. 14 Tesařík krovový a ukázka jeho poškození dřeva Zdroj: [15]

Červotoč proužkovaný (obr. 15) je brouk, který má v dospělosti šedohnědou až šedočernou barvu a dosahuje délky 3 až 4 milimetry. Jeho vývojový cyklus obvykle trvá jeden až dva roky. Ve srovnání s tesaříkem krovovým dosahuje brouk i larva mnohem menších rozměrů a tedy vytváří i menší požerkové chodby. Červotoč proužkovaný napadá jehličnaté i listnaté dřevo, konkrétně konstrukce větších rozměrů, nábytek i dřevo umělecko-řemeslně zpracované. Červotoč proužkovaný nepotřebuje příliš vysokou vlhkost dřeva. Dospělí brouci většinou zakládají novou generaci ve stejném dřevě, protože se dospělí jedinci příliš nepohybují. K rojení dochází v tomto případě v květnu až červnu. Výletové otvory mají kruhový tvar o průměru jeden až dva milimetry. Existují i další druhy červotočů, například umrlčí, domácí, atd., ale ty se příliš neliší od červotoče proužkovaného. [2]



Obr. 15 Červotoč proužkovaný a ukázka jeho požerku Zdroj: [18]

Hrbohlav parketový (obr. 16) napadá dubové dřevo. Brouk má hnědou až černou barvu a dosahuje délky 3 až 5 milimetrů. Jeho vývojový cyklus trvá většinou rok. Tento brouk nemá vysoké požadavky na vlhkost. Jeho výletové otvory jsou skoro stejné jako výletové otvory červotoče. [2]



Obr. 16 Hrbohlav parketový Zdroj: [18]

Pilořitka (obr. 17) se v dřevěných konstrukcích nachází jen zřídka, jelikož má vysoké požadavky na vlhkost. Z tohoto důvodu nenapadá dřevo v interiéru, pouze se v něm může vylíhnout vzhledem k tomu, že délka vývojového cyklu obvykle trvá 2 až 4 roky. Pilořitka také nedokáže vytvořit novou generaci ve dřevě zabudovaném v interiéru. Dospělé pilořitky mohou připomínat svým vzhledem vosy nebo sršně. [2]



Obr. 17 Pilořitka Zdroj: [2]

4 Ochrana dřeva

Dřevo je materiál organického původu. Dřevěné konstrukce jsou proto vystaveny větší míře možné degradace.

Dřevěná konstrukce může být poškozena:

- povětrnostními vlivy,
- mechanickým poškozením,
- biologickými vlivy,
- vysokou teplotou a ohněm.

Uvedené degradaci lze ovšem předcházet několika způsoby:

- zvýšením trvanlivosti dřeva,
- vhodnou údržbou,
- vhodným konstrukčním řešením. [5]

4.1 Fyzikální a konstrukční ochrana dřeva

Fyzikální ochrana dřeva je založena na regulaci vnějších podmínek. Úpravou teploty vlhkosti a dalších fyzikálních vlastností dřeva a okolního vzduchu, popřípadě i jiných vnějších vlivů můžeme dosáhnout toho, aby v daném místě biologický škůdce nepřežil, nebo nebyl aktivní a abiotické procesy neovlivňovaly dřevo, nebo aby tyto účinky byly co nejmenší.

Konstrukční ochrana dřeva vychází z fyzikální ochrany dřeva. Tato ochrana je určena pro výrobky ze dřeva. Princip spočívá v použití vhodných druhů dřevin, optimalizaci tvarů včetně detailů, použití povrchových nátěrů proti vodě i proti škůdcům. Fyzikální a konstrukční ochrana dřeva je prováděna ve formě různých opatření, konstrukčních řešení i technologických procesů. Ve stavební praxi se používají převážně tyto metody dlouhodobé fyzikální a konstrukční ochrany dřeva:

- suchá ochrana – trvale suchý stav dřeva,
- mokrá ochrana – trvalé mokrý stav dřeva,
- ochrana v inertním plynu – trvalé uložení dřeva v atmosféře, která je nevhodná pro biologické škůdce, například v čistém dusíku nebo v argonu,
- materiálová optimalizace - volba a využití trvanlivějších druhů dřeva, hlavně pro konstrukce vystavené v náročnějších podmínkách,
- volba vhodných konstrukčních prvků a detailů – především s cílem vyloučit nebo omezit průnik srážkové vody do objektu a dřeva a zabránit vzniku kondenzované vody,
- bariérová ochrana dřeva – povrchová úprava dřeva nátěry, které mají jen fyzikálně-mechanickou funkci proti vniknutí vody do suchého dřeva, a také zabraňují úniku vody z mokrého dřeva. Současně mechanicky zabraňují proniknutí biologických škůdců do dřeva. [5]

Metody fyzikální a konstrukční ochrany dřeva nemůžou vždy zabránit činnosti degradačních faktorů, což je podmíněno charakterem působení hub, ohně a jiných degradačních činitelů. V takovémto případě je nutné řešit ochranu dřeva komplexněji. V případě nevhodného prostředí je třeba kromě vhodných fyzikálně-konstrukčních řešení použít i vhodnou chemické ošetření nebo modifikaci dřeva. [5]

K primárním prostředkům fyzikální a konstrukční ochrany dřeva můžeme řadit příslušné požadavky, doporučení i nevyhnutelná opatření.

Požadavky na fyzikální a konstrukční ochranu dřeva jsou:

- udržování dřeva při vhodné vlhkosti, aby se neprojevila biologická aktivita škůdců (suchá nebo mokrá ochrana dřeva),
- dřevo, které je určeno do interiéru, je třeba upravit na vlhkost odpovídající místu uložení (suchá ochrana dřeva),

- dřevo, které bude uloženo v interiéru, je třeba izolovat od možných zdrojů vlhkosti (bariérová ochrana dřeva),
- konstrukce vystavené náročnějším podmínkám je nutné vyhotovit z trvanlivějších druhů dřeva,
- dřevo uložené v exteriéru je nutno ochránit před přímými povětrnostními vlivy a zvýšenou vlhkostí,
- konstrukce je třeba optimálně tvarovat a situovat i s ohledem na požární bezpečnost objektu. [5]

Doporučení pro fyzikální a konstrukční ochranu dřeva zahrnují:

- předcházení napadení dřeva biologickými škůdci (bariérová ochrana),
- předcházení trhlinám ve dřevě (přípravky proti trhlinám – spony, S-háky),
- usmrcení živé parenchymatické buňky ve dřevě, jenž je vhodným prostředím pro biologické škůdce, bakterie, plísně a dřevo zbarvující houby (fyzikální ochrana). [5]

Nevyhnutelná opatření pro objekty napadené houbami a hmyzem jsou:

- likvidace výrazně poškozeného dřeva, a to v případě, že už neexistuje možnost obnovy dřeva nebo by mohlo dojít k napadení nového dřeva,
- obnova biologicky poškozeného dřeva (sanační opatření, konzervace). [5]

4.2 Chemická ochrana dřeva

Chemická ochrana dřeva slouží pro zvýšení přirozené trvanlivosti dřeva, tzn. zvýšení odolnosti vůči biologickým škůdcům a abiotickým činitelům. Pro takovéto účely využíváme vhodné typy chemických látek – prostředky na chemickou ochranu dřeva. Mohou to být přírodní, ale v dnešní době hlavně syntetizované chemické látky s požadovanými účinky:

- látky proti baktériím,
- látky proti houbám,
- látky proti hmyzu,
- látky omezující vznik požáru,
- látky snižující atmosférické vlivy. [5]

Chemické ochranné prostředky musí mít kromě požadovaných účinků i vhodné aplikační vlastnosti, i přijatelné ekotoxikologické parametry. Všeobecně platí, že zvýšení přirozené trvanlivosti dřeva se zajistí jen správnou volbou chemického ochranného prostředku a jeho vhodnou aplikací. Při volbě ochranného prostředku musíme zohlednit:

- aplikační vlastnosti látky,
- účinnost dané látky,
- ekologické a toxikologické rizika.

Při ošetřování dřeva je nutné přihlédnout zejména na:

- přípravu dřeva před samotným ošetřením,
- volbu tlakových a difuzních sil pro transport ochranného prostředku do dřeva, aby se dosáhlo požadované penetrace, a dostatečného příjmu roztoku. [5]

Chemická ochrana dřeva se používá především na dlouhodobou preventivní ochranu dřeva vystaveného náročnějším podmínkám, jako mohou být podvaly, báňské dřevo, telekomunikační sloupy, dřevo umístěné v exteriéru (pergoly a terasy) i interiéru (krovy, stropy). Chemická ochrana se uplatňuje i při krátkodobé ochraně, například při skladování, přepravě nebo i při kalamitách. Tato ochrana je důležitá i při likvidaci biologických škůdců v napadeném dřevě. [5]

Kvalita chemické ochrany dřeva souvisí i s účinností a aplikačními vlastnostmi chemického ochranného prostředku, strukturou a vlhkostí dřeva, zvolenou technologií ošetřování a v neposlední řadě i se stabilitou ochranného prostředku ve dřevě. V dnešní době se jako převládající faktor pro uplatnění ochranného prostředku stává jeho ekologická a zdravotní nezávadnost. Environmentální hlediska jsou významná v průběhu technologie ošetření i v průběhu likvidace dřeva spalováním, kompostováním či jinými způsoby. [5]

4.2.1 Ochrana pomocí impregnace

Ochrana dřeva pomocí impregnace se používá převážně proti hmyzu a dřevokazným houbám a provádí se různými druhy chemických přípravků. Způsob impregnace je volen podle toho, kde se dřevo bude nacházet. Chemických přípravků pro ochranu dřeva je velká škála, ale některé se mohou projevit jako zdraví škodlivé. [2]

Impregnaci dřeva je možné rozdělit do dvou skupin:

- impregnace černá - je provedena dehtovými oleji a je jí využíváno na telegrafní sloupy nebo železniční pražce,
- impregnace bílá - je provedena látkami, které jsou ředitelné s vodou. [2]

Dále se impregnace dělí:

- dle působení na druh škůdců:
 - insekticidní - látky účinné proti plísním a houbám,
 - fungicidní - látky působící vůči dřevokaznému hmyzu,
- dle rozsahu zničení škůdců:
 - preventivní – předchází napadení dřeva,
 - likvidační – s cílem zničení škůdců v napadeném dřevě.

Mnoho přípravků má spojené účinky. [2]

Metody impregnace dřeva

Nátěr a postřik jsou jedny z nejjednodušších technologií impregnace, avšak jsou méně účinné. V případech, kdy je dřevo zabudováno v konstrukci, jsou tyto dvě metody impregnace jedny z mála použitelných. Většinou je preferován nátěr před postřikem, který je méně vhodný z důvodu zvýšené spotřeby ochranné látky. V obou případech se jedná prakticky o povrchovou impregnaci, kdy ochranný prostředek proniká cca 2 mm do hloubky dřeva. Impregnace těmito způsoby se může zlepšit pomocí perforace dřeva, která se provádí napichováním povrchů a využívá se pouze u konstrukčního dřeva. [7]

Impregnace dřeva ponořením do kapaliny za působení atmosférického tlaku je metoda velmi pomalá a příjem kapaliny je omezený v důsledku přítomnosti vzduchu ve dřevě. Z pohledu provádění můžeme rozlišovat ponoření krátkodobé, označené jako ponor, a dlouhodobé, označené jako máčení. Se vzrůstající dobou impregnace se zvyšuje například riziko poškození polychromie nabobtnáním rozpouštědlem. Další nevýhodou je odpařování látky z nádoby. [7]

Injektáž je impregnační metoda, které se využívá v případě konstrukčního dřeva pro lokální ošetření. Pomocí této metody se aplikují vodné nebo organické roztoky ochranných látek. Principem této metody spočívá v napichování dřeva dutou jehlou, díky níž

dochází ke vstřikování ochranného přípravku do dřeva, nebo v předvrtání otvorů, které se následně vyplní ochranným prostředkem. [7]

Pro infuzní metodu impregnace se využívá injektážní jehly a zásobní nádoby, ze kterých ochranný prostředek zatéká do dřeva na základě účinků gravitace. Výsledek této metody je relativně uspokojivý zvláště u menších objektů, jež jsou silně poškozené dřevokazným hmyzem. Mezi výhody této technologie impregnace lze zahrnout to, že kapalina proniká dovnitř dřeva a současně je sníženo odpařování rozpouštědla. Tato metoda je pracná a časově náročná. [7]

Vakuová, vakuotlaková, a tlaková impregnace je metoda, při níž je ochranná látka transportována vlivem vnější tlakové síly. Vakuová impregnace je časově méně náročná a dochází k lepšímu proimpregnování než v případě impregnace za působení atmosférického tlaku. Při vakuové impregnaci je transport kapaliny usnadněn odsáním vzduchu z porézního systému a vytvořením tlakového gradientu. Tato technologie se provádí v uzavřených nádobách, avšak je limitována rozměry nádoby. [7]

Vakuová impregnace je prováděna v uzavřených nádobách. Po zavezení dřeva do nádoby se začne udržovat snížený tlak, následně po zaplavení dřeva ochranným roztokem je tlak vyrovnán na atmosférický a probíhá impregnace. Délka impregnace se stanovuje na základě požadavků pro příjem látky. [7]

Vakuotlaková impregnace má vyšší účinnost než vakuová impregnace. Její využití je převážně pro obtížně impregnovatelné dřevo a pro impregnaci do plného nasycení buněk. Při impregnaci se udržuje tlak cca 880 kPa po dobu minimálně 30-ti minut. [7]

Impregnace za sníženého tlaku v obalu z plastu je jednou ze speciálních technologií, které byly vyvinuty pro památkové objekty a jsou aplikovatelné na dřevěné i kamenné konstrukce. Objekt, u kterého má být provedena impregnace, je zabalen do polyetylénové sítě s ochrannou funkcí. Síť slouží jako ochrana před protržením fólie o ostré hrany objektu a zabraňuje přisátí fólie k objektu, díky čemuž je vytvořen prostor pro pohyb kapaliny. Objekt je následně zataven do polyetylénové fólie. Ve sváru fólie jsou umístěny přírodní a odsávací hadičky. Hadičky jsou spojeny přes skleněné kohoutky se zásobním roztokem a vývěvou. Objekt nebo předmět tím pádem není ponořen v kapalině, avšak je s ní v těsném styku. [7]

Impregnace pulzací je využívána pro dřevo o zvýšené vlhkosti. Principem je působení rychle se střídajících cyklů zvýšeného tlaku a tlaku atmosférického až sníženého. Délku

jednotlivých cyklů je potřebné postupně prodlužovat z 1 až na 10 minut. Délka impregnace závisí na vlhkosti dřeva a pro smrk o vysoké vlhkosti může být až 22 hodin. [7]

Difuzní hybné síly nachází uplatnění při impregnaci dřeva ponořením za atmosférického tlaku v případech, kdy se provádí konsolidace vodou nasyceného dřeva vodnými roztoky nebo při impregnacích čerstvě pokáceného dřeva. Tato impregnace je velice pomalá. [7]

4.2.2 Ochrana dřeva protipožárními nátěry

Jde o chemické látky, které omezují hořlavost dřeva nebo omezují rozšiřování ohně po povrchu dřeva. V praxi jsou používány především dvě skupiny látek:

- amonné soli - vytvářejí plynné zplodiny, které zamezují přístupu vzduchu,
- pěnotvorné látky - vícesložková soustava, složená z pojiva, retardéru hoření a nadouvadla, u níž za zvýšení teploty dojde k vytvoření vrstvy pěny, která má izolační schopnosti. [2]

Další látky používané k omezení hoření dřeva jsou sloučeniny boru. Tyto sloučeniny vykazují i biocidní účinky. Při využití jako ochrany proti ohni musí být vrstva těchto sloučenin několikanásobně větší než jen u biocidní ochrany. [2]

Podle způsobu, jak je hoření omezováno, můžeme retardéry dělit na:

- látky zabraňující přístupu kyslíku - k vnějšímu i vnitřnímu povrchu,
- látky, které tepelně izolují dřevní hmotu - od vnějšího tepelného zdroje vytvářením tuhé izolační vrstvy,
- látky zředňující hořlavé plyny - plyny unikající z dřeva během tepelného rozkladu jsou zředňovány plyny nehořlavými,
- látky snižující koncentraci kyslíku - v zóně aktivního hoření, čímž potlačují průběh exotermických termooxidačních reakcí,
- látky aktivizující endotermické reakce - podporují tvorbu izolační vrstvy dřevěného uhlí a současně omezují tvorbu hořlavých plynů. [2]

Využití některých látek jako retardérů hoření pro konstrukce památkových objektů je nevhodné, protože tyto látky mohou měnit vzhled dřeva. Jde zejména o látky tvořené amonnými soli. Tyto látky mohou způsobovat korozi dřeva tzv. rozvlákňování,

a to v případech, kdy je těchto látek opakovaně používáno. Naopak pěnотvorné látky jsou jedny z neúčinnějších, vynikají dlouhou životností a výrazněji nemění vzhled ošetřeného dřeva. [2]

4.2.3 Ochrana dřeva nátěry proti povětrnostním vlivům

Nátěry proti povětrnostním vlivům chrání dřevo a dřevěné konstrukce vystavené ve vnějším prostředí před atmosférickými vlivy jako je UV záření, kyslík, voda, emise a jiné vlivy. Složkami těchto nátěrů jsou:

- stabilizátory extraktivních látek – brání vyluhování,
- stabilizátory ligninsacharidové matrice – brání degradačnímu účinku UV záření, kyselin, zásad, oxidačních a jiných agresivních látek a solí,
- stabilizátory tvaru dřeva – brání vzniku trhlin a rozměrových změn.

Dřevo se nejčastěji stabilizuje filmotvornými a lazurovacími nátěry nebo nízkomolekulovými systémy, které jsou schopné penetrovat hlouběji do dřeva. [5]

4.2.4 Ochrana dřeva nátěry filmotvornými a lazurovacími

Povrchová ochrana dřeva uvnitř budov ochraňuje dřevo desítky let. Ve vnějším prostředí vydrží některé nátěry 1-2 roky z důvodu jejich degradace vlivem vlhkosti a UV záření. Životnost nátěrů ve vnějším prostředí záleží velkou měrou na dřevě a jeho vlastnostech, na obsahu pryskyřice, obsahu vlhkosti, charakteru povrchu, velikosti a orientaci letokruhů i na vadách dřeva. Dále záleží na kvalitě nátěrové hmoty, technologii aplikace, předchozí úpravě a klimatických podmínkách. Vyšší účinnost ochrany dřeva ve vnějším prostředí vykazují nátěry s vysokým obsahem pigmentu oproti lazurovacím, které jsou méně účinné. Lazurovacími nátěry totiž proniká UV záření a dřevo degraduje pod nátěrem. Přidáním absorbátoru UV záření a antioxidantu je tedy dosahováno pouze zpomalení degradace. [2]

Filmotvorné nátěry tvoří na vnějším povrchu dřeva souvislou neporézní vrstvu. Lazurovací nátěry ovšem částečně pronikají do hloubky dřeva, přičemž filmovou vrstvu, která je u nich obvykle paropropustná, vytvářejí až po více nátěrech. Filmotvorné a lazurovací nátěry zabráňují výluhu látek ze dřeva, zvyšují hydrofobnost povrchu dřeva a zvyšují odolnost proti povětrnostním vlivům a mechanickému opotřebení. Průhledné typy těchto nátěrů

se používají hlavně na ošetření tmavších druhů dřeva, aby se zamezilo ztrátě jejich původní barvy. Různé druhy filmotvorných a lazurovacích nátěrů zpomalují přenos vlhkosti mezi dřevem a ovzduším, čímž potlačují tvorbu vlhkostních napětí ve dřevě, a tím omezují vznik trhlin. Tyto nátěry dobře pohlcují a rozptylují ultrafialové záření. Je tomu jednak v důsledku vytváření fázových rozhraní v nátěrovém systému, ale i vlivem aditiv, jako jsou antioxidanty, absorbátory záření a pigmenty. V průhledných nátěrech se používají antioxidanty a také pohlcovače záření, či stabilizátory ligninu. Tuhé anorganické pigmenty se používají v pigmentovaných nátěrech. [5]

Při aplikaci těchto nátěrů do exteriéru se požaduje, aby byly dostatečně odolné, nejen proti vodě, ale i proti organickým rozpouštědlům, zásadám a slabým kyselinám. Pro zlepšení jejich bioodolnosti i schopnosti v určité míře ochránit samotné dřevo proti biologickým škůdcům se k nim přidávají baktericidní, fungicidní a případně i insekticidní složky. Při ochraně nového dřeva se nejvíce používají nátěry na bázi alkydů modifikovaných vysychavými oleji a přírodními živicemi, dále to mohou být nátěry na bázi polyakrylátu a i kombinace alkydu a akrylátu. Tyto nátěry částečně penetrují i do dřeva. Při nevhodné aplikaci, nedodržení správné vlhkosti dřeva mohou všechny typy nátěrů ztratit svoji ochrannou funkci. [5]

Olejovité nátěry – olejovité laky na bázi lnu i jiných rostlinných olejů patřili v minulosti k nejpoužívanějším látkám pro ošetření dřeva vystaveného ve vnějším prostředí. Olejové látky obsahují kromě přírodních olejů i přírodní živice, jako například pryskyřice a kopál. Olejové nátěry jsou lesklé, tvrdé, odolné vůči vodě, ale i křehké a vlivem stáří praskají. Používají se hlavně při obnově historických dveří, oken a jiných dřevěných prvků. [5]

Alkydové nátěry – vytvářejí na povrchu dřeva film v důsledku autooxidace vysychavých olejů. Proces vysychání a tuhnutí trvá 48 až 72 hodin a závisí také na teplotě. Aplikují se 2 až 3 nátěry a mezi jednotlivými nátěry je potřeba časový interval jeden až dva dny. Nátěr je po vysušení ohebný, tenký, tažný, tvrdý, odolný vůči mechanickému poškození a má velmi dobré adhezní vlastnosti. Pro vnější prostředí se doporučuje použít pigmentové alkydové nátěry. Do nepříznivějších prostředí jsou vhodné alkydové nátěry s přídavkem fungicidní a insekticidní složky. [5]

Akrylátové vododisperzní latexy – jsou složeny z makromolekulové akrylátové složky, různých stabilizátorů i jiných aditiv a vody. Jsou dostupné v různých barevných odstínech a přidávají se do nich i biocidní látky. [5]

4.2.5 Penetrační nátěry

Nízkomolekulové penetrační nátěry se skládají z více látek. Jejich hlavní úlohou je hydrofobizovat dřevo a podle možností stabilizovat jeho povrch proti fotooxidaci. [5]

Hydrofobizační efekt je základní požadavek, kladený na penetrační nátěry. Ten musí zvýšit vodoodpudivost dřeva, a tím nepřímo zvýšit i jeho přirozenou trvanlivost. Tyto nátěry obvykle obsahují rostlinné oleje, vodoodpudivé vosky, pigmenty, rozpouštědla, stabilizátory a menší podíl živic. Na hladký nebo drsný povrch dřeva se aplikují nátěrem, postřikem, podtlakovými nebo přetlakovými impregnačními technologiemi. Dají se kombinovat i s dalšími ochrannými látkami, například s biocidními látkami. [5]

Využívá se také fotooxidačních stabilizátorů, což jsou anorganické sloučeniny zinku, chromu, cínu nebo železa. Tyto látky stabilizují ligninosacharidovou matici v povrchových vrstvách dřeva proti povětrnostním vlivům a slunečnímu záření. U sloučenin chromu se předpokládá, že jejich stabilizační účinek je založený na vzniku chrom-ligninových a chrom-polysacharidových interakcí. V důsledku těchto interakcí se ve stavebních polymerech dřeva potlačují fotooxidace a nedochází k přeměně na látky rozpustitelné ve vodě. Výsledkem je snížená tvorba trhlin, světelná stálost a účinek erozivního odbourávání. [5]

4.2.6 Ochrana dřeva nátěry proti agresivním chemikáliím

Agresivní chemikálie se vyskytují buď v prostředí, do kterého je dřevo umístěno nebo jsou součástí samotného dřeva nebo chemických ochranných prostředků. Výrobky ze dřeva také obsahují kromě dřeva i jiné materiály, konkrétně plasty, sklo, kůže, textil nebo kovy, které mohou být degradovány. Například koroze kovů je vyvolána extraktivními látkami přítomnými v některých druzích dřeva, jmenovitě železo koroduje díky přírodním rostlinným látkám obsažených v dubu. Na druhou stranu korozi skla vyvolávají fluoridové biocidy. Textil, plasty a kůže se v důsledku jejich konkrétní chemické skladby narušují různými organickými rozpouštědly i chemickými ochrannými prostředky. Tyto skutečnosti musíme při budování konstrukce vždy důkladně zvážit. [5]

4.3 Modifikace

Životnost dřeva lze prodloužit správnou ochranou, chemickou, konstrukční a v neposlední řadě také modifikací. Chemická ochrana dřeva má v dnešní době značné množství odpůrců z důvodu zátěže životního prostředí při ošetřování dřeva a i při likvidaci starého dřeva. Tyto skutečnosti vyvíjejí tlak, aby se hledaly alternativy pro zvýšení životnosti dřeva. V dnešní době již některé alternativy známe např. výběr trvanlivějších druhů dřevin, zejména tropických; ošetření pomocí méně toxických nebo netoxických látek; případně modifikace dřeva. [5]

Modifikované dřevo je dřevo, u kterého byla záměrně změněna struktura pro zlepšení jeho vlastností, konkrétně termické odolnosti, biologické odolnosti, pevnosti, tvrdosti, vodoodpudivosti, odolnosti proti agresivním chemikáliím a jiných. Strukturu a vlastnosti dřeva můžeme modifikovat mechanicky, chemicky, termicky, anebo biologicky. [5]

Mechanické metody modifikace jsou založené na prvotní plastifikaci dřeva (ligninu) a na následném slisování v kovové formě. Takto modifikované dřevo se vyznačuje větší hustotou, pevností a rázovou houževnatostí. Mechanicky modifikované dřevo je vhodnější převážně do interiéru pro výrobky vystavené zvýšenému mechanickému namáhání. Pro využití v exteriéru musí být dřevo ošetřeno nátěry s protipovětrnostními účinky. Termickým účinků odolává modifikované dřevo lépe než neupravené, ale odolnost proti hnilobě a biologickým činitelům se obvykle nemění. [5]

Chemické metody modifikace spočívají v ošetření dřeva chemickými látkami, které nemají přímo biocidní nebo jiné ochranný účinek. Tyto látky mohou zůstat pouze v lumenech buněk nebo pronikat i do buněčných stěn, a také se mohou účastnit chemických reakcí ve dřevě. Odolnost chemicky modifikovaného dřeva proti vodě, UV záření a biologickým škůdcům je založen na tvorbě nových interakcí mezi chemickou látkou a dřevem. Mezi chemické látky, které dokážou vyplnit prostor lumenů buněk dřeva lze zařadit některé druhy živic a různé polymery. Látky reagující v buněčných stěnách dřeva s OH skupinami celulózy, hemicelulózy a ligninu jsou anhydridy, epoxidy, karboxylové kyseliny a další. Vlastnosti chemicky modifikovaného dřeva závisí na množství modifikační látky ve dřevě a na reakcích chemických látek s látkami ve dřevě. Chemicky modifikované dřevo má lepší rozměrovou stabilitu a výrazně větší odolnost proti dřevokazným houbám a dřevokaznému hmyzu. Mechanické vlastnosti se mění specificky a záleží na chemických

látkách, ale výrazně se neliší od rostlého dřeva. Chemicky modifikované dřevo má obvykle větší tvrdost. [5]

Termické metody modifikace jsou založené na termických a hydrotermických úpravách dřeva při vysokých teplotách cca 180-280°C. Vlivem vysokých teplot dochází k rozkladu některých stavebních polymerů dřeva a k tvorbě nových, ve vodě nerozpustitelných, látek, ale i látek toxických a také látek, které odpuzují biologické škůdce. Termické procesy je vhodné realizovat v inertním prostředí, aby se zabránilo výraznější degradaci celulózy a poklesu pevnosti dřeva. Mezi nejznámější termicky modifikované výrobky ze dřeva patří ThermWood. [5]

Výroba dřeva ThermWood se skládá ze tří fází tab. 4

Tab. 4 Postup výroby dřeva ThermWood Zdroj: [5]

Druh fáze	Vliv fáze
Zvýšení teploty a sušení.	V první fázi se teplota v sušárně rychle zvyšuje na 100°C a potom se pozvolna zvyšuje na teplotu cca 130°C. Jako sušící médium se využívá horký vzduch nebo pára. V této fázi se dřevo vysuší do nulové vlhkosti.
Tepelná úprava	Ve druhé fázi se teplota zvýší na úroveň 185 až 215-230°C po dobu 2-3 hodin. Velikost teploty a čas působení závisí na klasifikační třídě termodřeva.
Chlazení a úprava vlhkosti	Ve třetí fázi se termicky upravené dřevo postupně chladí a při teplotě 80-90°C se zvlhčuje a to tak, aby konečná vlhkost byla 4-7%.

Vliv termické modifikace na vlastnosti dřeva:

- Biologická odolnost závisí na procesu výroby a na expozičních podmínkách. Ve většině případů dochází ke zvýšení odolnosti proti biologickým činitelům. Upravené dřevo je dostatečně odolné proti dřevokaznému hmyzu, ale odolnost proti termitům může být nižší než u nemodifikovaného dřeva.
- Odolnost proti povětrnostním vlivům také závisí na technologii výroby. U tmavších termicky modifikovaných dřevin se vlivem UV záření, kyslíku a jiných atmosférických vlivů mění jejich původní hnědá barva na šedou, a proto se ošetřují oleji a barvami.

- Protipožární odolnost je víceméně stejná jako u běžného rostlého dřeva.
- Pevnost je obvykle u termodřev nižší. Zvýšená teplota narušuje hemicelulózu, a tím negativně ovlivňuje pevnost dřeva v tlaku. Dřevo je také křehčí a klesá i pevnost v ohybu a tahu. Obecně platí, že termodřevo by se nemělo používat pro nosné prvky dřevěných konstrukcí. [5]

Termodřevo je vhodné používat pro prvky umístěné v interiéru, jako jsou parkety, obklady, kuchyňský nábytek, podlahy v saunách, ale i pro speciální výrobky, například hudební nástroje. Můžou se používat na okna, vchodové dveře, zahradní nábytek, ploty a jiné. Termodřevo v sobě skrývá potenciál náhrady za tropické dřeviny a také může nahrazovat dřevo chráněné toxickými látkami. Závěrem je nutné zmínit, že v současnosti vyráběné termodřevo není vždy vhodné do náročnějších podmínek, kde je dřevo v trvalém kontaktu se zeminou a vodou. [5]

Biologické metody modifikace jsou založené na určitém vztahu mezi nebezpečným biologickým škůdcem a jiným biologickým činitelem, který dřevo nepoškozuje nebo poškozuje velmi mírně. Mezi různými bakteriemi, houbami a hmyzem i jinými organismy existuje často boj o potravu získávanou ze dřeva, či přímo parazitický vztah. Biologická modifikace se v praxi provádí nejčastěji infikováním dřeva takovým biologickým organismem, který produkuje látky s fungicidními anebo biocidními účinky. Biologické organismy dokáží potlačit růst nebezpečných škůdců anebo je rovnou usmrtí, avšak sami neovlivňují anebo jen bezvýznamně zhoršují kvalitu dřeva. [5]

5 Mineralizace dřeva

Mineralizací rozumíme částečné nebo úplné prosycení organické hmoty minerálními částicemi, které se může uskutečňovat v zcela přirozených podmínkách (petrifikace), nebo i uměle. Nejčastěji jsou k tomu účelu využívány látky na bázi oxidu křemičitého SiO_2 a kyseliny křemičité H_4SiO_4 , ale mohou to být i jiné vhodné chemické látky. Z hlediska charakteru účinku se tak může jednat jak o ošetření (impregnaci), nebo dokonce modifikaci. [5]

Pro mineralizaci se vyzkoušela řada látek na bázi křemičitanů. V lumenech nebo i v buněčných stěnách dřeva se z nich vytváří anorganické-křemíkové sítě. Tyto látky samy od sebe nezlepšují biologickou odolnost dřeva, a proto z hlediska perspektivy jejího využití se nabízí možnost kombinace s biocidy. [5]

5.1 Křemičité látky pro mineralizaci dřeva

Silikáty typu Na_2SiO_3 , K_2SiO_3 a jiné se do dřeva zavádí ve formě vodných roztoků tzv. vodních skel. Lokalizují se hlavně v lumenech buněk a jen částečně pronikají do buněčných stěn. Vlivem silikátů se zvyšuje odolnost dřeva proti vodě a tvarovým změnám, snižuje se hořlavost dřeva, ale nemají významný vliv na bioodolnost. [5]

Chlorosilany typu SiCl_4 se ve dřevě hydrolyzují na kyselinu křemičitou, která při zvýšené teplotě cca 100°C dokáže reagovat s $-\text{OH}$ skupinami dřeva. Takto modifikované dřevo lépe odolává hnilobě. Nevýhodou je však uvolňující se kyselina chlorovodíková HCl , která způsobuje korozi dřeva. Snížení tvorby kyseliny chlorovodíkové lze zajistit mineralizací pomocí trimethylchlorsilanu. [5]

Alkoxysilany typu tetraalkoxysilany v ošetřeném dřevě nejdříve hydrolyzují a následně při vysokých teplotách a v přítomnosti katalyzátoru (kyselina octová) vytváří SiO_2 síť. Tato síť se vytváří bez vzniku kyseliny chlorovodíkové a nevzniká ani žádný jiný agresivní meziprodukt, který by ovlivňoval vlastnosti dřeva. Dřevo mineralizované alkoxysilany vykazuje menší hořlavost, vyšší odolnost vůči termitům a prakticky stejnou odolnost proti hnilobě. [5]

Silikony jsou organicko-křemíkové polymery, ve kterých se na atomy křemíku vážou nepolární organické uhlovodíky. Makromolekuly silikonů se prakticky deponují jen v lumenech buněk dřeva. Do dřeva se aplikují vodnými mikroemulzemi. Díky této mineralizaci se částečně zvyšuje i hydrofobobita dřeva. [5]

Organo-silany jsou organicko-křemíkové monomerní látky. Mezi nejznámější patří alkyl-trimetoxysilany. Po hydrolytické reakci s vodou se z ní vytváří silany, které snadno reagují se složkami buněčných stěn dřeva. Takto vytvořené vazby organo-silanů s dřevem mohou i zpětně hydrolyzovat, a tím pádem jsou ve vlhkém prostředí nestabilní. Organo-silany zlepšují fyzikální, mechanické i dynamické vlastnosti. [5]

5.2 Vodní sklo

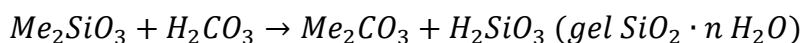
Jak již bylo uvedeno, jednou z mineralizačních látek je i tzv. vodní sklo. Pro mineralizaci vzorků dřeva v této bakalářské práci bylo využito právě křemičitanu sodného, proto se blíže seznámíme s výrobou této látky, jejími vlastnostmi a způsobem vytvrzení. U jeho aplikace

na dřevo lze předpokládat zvýšení odolnosti dřeva proti vodě a tvarovým změnám, snížení hořlavosti bez zásadního ovlivnění biologické odolnosti. [19]

Výroba vodního skla v dnešní době probíhá nejčastěji dvěma základními způsoby. První způsob spočívá v rozpuštění pevného křemičitanu sodného nebo draselného. Sklářský písek (oxid křemičitý s čistotou 70-75%) se roztaví ve sklářské vanové peci při teplotě 1400-1600°C a za pomoci alkalických tavidel oxidu sodného (neboli sody) nebo oxidu draselného (neboli potaše) se usnadní ono natavení písku. Roztavený sklářský písek se prudce zchladí, aby došlo k rozpraskání na co nejmenší části, a tím se zjednoduší jeho následné rozpuštění. Takto vytvořená vstupní surovina se za pomoci hydroxidu sodného nebo draselného, vody, teploty a tlaku rozpouští v autoklávu na tekuté vodní sklo. Takovýmto způsobem je možné vyrábět všechny druhy vodních skel. Druhý způsob spočívá v hydrotermální reakci, kdy se v autoklávu za pomoci hydroxidu, vody, teploty a tlaku rozpouští křemičitý písek. Tato metoda slouží jen pro výrobu určitých typů vodních skel sodných. Při rozpouštění v autoklávu se mohou přidávat organická či anorganická aditiva, a tím vylepšovat vlastnosti vodních skel. [19]

Vlastnosti vodního skla záleží na jeho složení, jež je nejčastěji charakterizováno křemičitým modulem M , ten vyjadřuje poměr $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ pro vodní sklo sodné a pro draselné poměr $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$. Křemičitý modul vyráběných typů vodního skla leží mezi 1,6-4,1. Kromě modulu se pro charakterizaci vodního skla používá také hustota, která udává informaci o koncentraci roztoku i o jeho složení, dále se využívá i viskozita a hodnota pH. Viskozita vodního skla souvisí s koncentrací a hodnotou křemičitého modulu. Při srovnávání viskozity je nutné vzít v potaz to, že je vodní sklo kapalina a viskozita závisí na způsobu měření. Hodnota pH je funkcí chemického složení a koncentrace vodního skla. Vodní skla jsou roztoky solí silné zásady a slabé kyseliny, a tím pádem jsou značně alkalická. [19]

Vytvrzování vodního skla způsobuje gel kyseliny křemičité, a to v důsledku reakce křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. kyselinou uhličitou podle této rovnice:



Vedlejší produkt této reakce je podle typu skla soda nebo potaš. [19]

6 Testování mineralizovaného dřeva

V praktické části se budu zabývat testováním vybraných dřevin, které byly mineralizovány křemičitanem sodným. I když se předpokládá pozitivní vliv této látky na vybrané vlastnosti dřeva, zejména redukci příjmu vody, je pro stavební účely nutné posoudit i ovlivnění parametrů mechanických. Z toho důvodu považuji za vhodné se blíže seznámit s ošetřenými dřevinami a také prostředkem, kterým byly dřeviny ošetřeny. K ošetření bylo použito vodní sklo s obsahem křemičitanu sodného 36-38%. Křemičitan sodný a jeho výroba je popsána v kapitole 5 Mineralizace dřeva. K experimentu byly použity čtyři dřeviny – dvě listnaté buk lesní (*Fagus sylvatica*) a dub (*Quercus*), a dvě jehličnaté smrk ztepilý (*Picea abies*) a modřín opadavý (*Larix decidua*). [1]

Smrk ztepilý (*Picea abies*) je nejvyužívanějším dřevem ve stavební praxi. Smrkové dřevo se využívá při stavbě krovů, v menší míře pro bednění, na okna, výjimečně na podlahy, stropy a zárubně dveří. Může být použito i pro lehké konstrukce objektů pro hospodářská zvířata. Kromě stavebnictví se používá i pro výrobu nábytku. Odpad se dále zpracovává na dřevovláknité desky. [1] Smrk má měkké dřevo, které je poměrně lehké a má dlouhá vlákna. Smrkové dřevo je pružné a poměrně pevné a vysušené je dobře štípatelné. Smrkové dřevo se málo bortí a sesychá. Při použití v interiéru má vysokou trvanlivost, ale při použití v exteriéru je méně odolné. Barva je žlutohnědá a nemá barevně odlišené jádro. [6]

Modřín opadavý (*Larix decidua*) má středně těžké dřevo, které je poměrně měkké, ale je tvrdší než smrk nebo borovice. Modřínové dřevo je houževnaté, lehce štípatelné, dobře obrobitelné trvanlivé dřevo. Dále je velice trvanlivý jak na suchu, tak ve vodě i vlhku, málo sesychá, ale hřebíkové spoje ho snadno štípají. Jeho použití je výhodné tam, kde jsou zvýšené požadavky na bezpečnost a trvanlivost a v místech s proměnlivou vlhkostí a teplotou. Používá se s výhodou pro okna, domovní dveře, obložení, pergoly a zahradní nábytek. [6]

Dub (*Quercus*) má dřevo tvrdé, těžké, pružné a velmi pevné, vysoce trvanlivé a dobře štípatelné. Jeho běl je úzká a má široké hnědé jádro. Jeho předností je vyšší odolnost vůči hnilobě. Při střídavém působení vody a vzduchu jeho povrch degraduje, ale při trvalém ponoření pod hladinou vody jádro je netknuté, zčerná, ztverdne a zkamení. Dubové dřevo je vhodné pro truhlářské výrobky, vrata, dveře, schody, prahy rámy oken, ale i dřevěné piloty atd. [1]

Buk lesní (*Fagus sylvatica*) je z listnatých dřevin v našich zeměpisných šířkách nejvíce využívaný. Jeho dřevo je tvrdé, těžké a dobře štípatelné. Buk má pevné, ale málo pružné dřevo, které značně sesychá a praská, a je také málo odolné proti houbám a červotoči. Bukové dřevo je vhodné pro impregnace a moření. V exteriéru je málo trvanlivé, ale v suchu a ve vodě je velice trvanlivé. Typická je pro něj bílá až okrová barva. Použití se zaměřuje na nábytek z ohýbaného dřeva, dřevotřískové lisované desky, pro výrobu vlysů atd. [6]

Vzorky vyrobené z uvedených dřevin a ošetřené mineralizačním roztokem byly následně podrobeny jednotlivým zkouškám.

6.1 Stanovení rázové houževnatosti

Příprava vzorků:

U zkušebních těles nejprve proběhlo označení a to podle druhu dřeva, délky máčení v křemičitanu sodném a počtu kusů. Zkušebních těles na zkoušku rázovou houževnatostí bylo celkem 320. Jednotlivé zkušební tělesa měly rozměry 20x20x300 mm. Pro provedení zkoušky byly připraveny celkem 4 sady vzorků, které se lišily délkou uložení v křemičitanu sodném. Sada číslo 1 byla uložena v křemičitanu sodném po dobu 4 hodin, sada 2 na dobu 24 hodin, sada 3 na 7 dní a sada 4 na 28 dní. Každá sada obsahovala 80 zkušebních vzorků – 20 vzorků buku, 20 vzorků dubu, 20 vzorků smrku a 20 vzorků modřínu. Připravena byla taktéž sada referenční - neošetřená. Po označení se zkušební vzorky umístily do klimatické komory s teplotou 20°C a vlhkostí 70%. V klimatické komoře zůstaly, dokud se nedosáhlo ustálené hmotnosti. Tato skutečnost se ověřila kontrolním vážením.

Po dosažení ustálené hmotnosti proběhlo umístění zkušebních vzorků do exsikátoru a následovalo měření a vážení. Vzorky jsou ve tvaru pravoúhlého hranolu, základná má rozměry 20x20 mm a délka podél vláken je 300 mm, jedna boční stěna vzorku by měla být v radiální rovině a druhá v tangenciální rovině. V polovině délky vzorku byla změřena šířka v radiálním a výška v tangenciálním směru pomocí posuvného měřidla s přesností na 2 desetinná místa. Délka vzorku byla stanovena také s přesností na 2 desetinná místa. Hmotnost se stanovila pomocí digitálních vah s přesností na 2 desetinná místa. Následovalo vložení zkušebních vzorků do nádoby s křemičitanem sodným. Zkušební vzorky se po uplynutí patřičného časového intervalu vytáhly, povrchově osušily (obr. 18) a opět zvážily na digitální váze s přesností na 2 desetinná místa. Následně se stanovil příjem roztoků

dle vzorce $p = k * \frac{(m_x - m_0)}{A} [g/m^2]$. Zkušební vzorky se poté přenesly do exteriérové sušárny na dřevo a ponechaly se zde do ustálení hmotnosti. Následně se zkušební vzorky společně s neošetřenými referenčními umístily znovu do klimatické komory, která byla nastavena na 70% vlhkost a 20°C. V klimatické komoře zůstaly, dokud se nedosáhlo ustálené hmotnosti. Tato skutečnost se ověřila kontrolním vážením. Po dosažení ustálené hmotnosti proběhlo umístění zkušebních vzorků do exsikátoru a následovalo opět měření a vážení. Po stanovení rozměrů a hmotností se přešlo ke zkoušení vzorků. Na základě naměřených hodnot se stanovila objemová hmotnost viz. 6.3 Stanovení objemové hmotnosti. Ta se stanovila i u vzorků pro pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny.



Obr. 18 Průběh povrchového osušení zkušebních vzorků

Postup zkoušení dle ČSN 49 0117

Předem připravené zkušební vzorky byly přemístěny ke zkušebnímu zařízení. Zkouška byla provedena pomocí kyvadlového Charpyho kladiva, které pracuje na principu změny potenciální energie v kinetickou. Zkušební vzorek se umístil do přístroje (obr. 19), aby byl porušen jediným úderem kladiva na radiální povrch. Charpyho kladivo bylo zafixováno pod úhlem počátečního vychýlení, aby proběhlo nastavení počáteční polohové energie (obr. 20). Následovalo uvolnění kladiva, které porušilo vzorek (obr. 21), a odečetla se hodnota práce Q [J] s přesností na 2 desetinná místa. Dle vzorce (1) se dopočítala rázová houževnatost. [9]

Rázová houževnatost:

$$A_W = \frac{Q}{b \cdot h} \text{ [J/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

Stanovení vlhkosti proběhlo dle vzorce (7) viz. 6.4 Stanovení vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou.

Rázová houževnatost přepočtená na 12% vlhkost

$$A_{12} = A_W * (1 + \alpha * (w - 12)) \text{ [J/cm}^2\text{]} \quad (2)$$

Popis veličin:

Q - práce potřebná pro porušení vzorku [J];

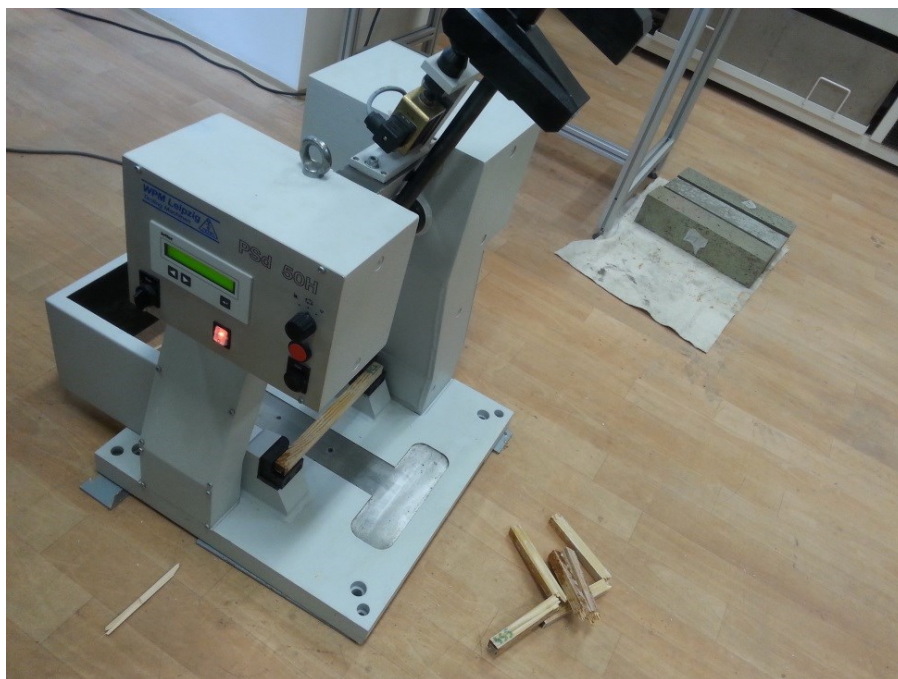
b, h - rozměry vzorku v radiálním a tangenciálním směru [mm];

w - vlhkost zkušebního tělesa [%];

α - opravný vlhkostní koeficient, pro všechny dřeviny stejný 0,02. [9]



Obr. 19 Umístění zkušební vzorku do Charpyho kladiva



Obr. 20 Nastavení počáteční polohové energie a následný průběh zkoušení



Obr. 21 Ukázka porušeného vzorku smrku

6.2 Stanovení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny

Příprava vzorků:

U zkušebních těles nejprve proběhlo označení a to podle druhu dřeva, délky namočení v křemičitanu sodném a počtu kusů. Zkušebních těles na zkoušku pevnosti v tlaku rovnoběžně

s vlákny bylo celkem 480. Jednotlivé zkušební tělesa měly rozměry 20x20x30 mm. Pro provedení zkoušky byly připraveny celkem 4 sady vzorků, které se lišily délkou uložení v křemičitanu sodném. Připravena byla taktéž sada referenční - neošetřená. Časový interval máčení se shoduje s předchozí zkouškou viz. 6.1 stanovení rázové houževnatosti. Každá sada obsahovala 120 zkušebních vzorků, 30 vzorků buku, 30 vzorků dubu, 30 vzorků smrku a 30 vzorků modřínu. Po označení se zkušební vzorky umístily do klimatické komory s teplotou 20°C a vlhkostí 70%. V klimatické komoře zůstaly, dokud se nedosáhlo ustálené hmotnosti. Tato skutečnost se ověřila kontrolním vážením. Po dosažení ustálené hmotnosti proběhlo umístění zkušebních vzorků do exsikátoru a následovalo měření a vážení.

Vzorky jsou ve tvaru pravoúhlého hranolu, základná má rozměry 20x20 mm a délka podél vláken je 30 mm, jedna plocha vzorku by měla být v radiální rovině a druhá v tangenciální rovině. V polovině délky vzorku byla změřena šířka v radiálním a výška v tangenciálním směru pomocí posuvného měřidla s přesností na 2 desetinná místa. Délka vzorku byla stanovena také s přesností na 2 desetinná místa. Hmotnost se stanovila pomocí digitálních vah s přesností na 4 desetinná místa (obr. 22). Následovalo vložení zkušebních vzorků do nádoby s křemičitanem sodným. Zkušební vzorky se po uplynutí patřičného časového intervalu, povrchově osušily a opět zvážily na digitální váze s přesností na 4 desetinná místa a dle vzorce $p = k * \frac{(m_x - m_0)}{A} [g/m^2]$ (8) se stanovil příjem roztoku. Zkušební vzorky se přenesly do exteriérové sušárny na dřevo a po ustálení hmotnosti se zkušební vzorky s referenčními vzorky umístily znovu do klimatické komory, která byla nastavena na 70% vlhkost a 20°C. V klimatické komoře zůstaly, dokud se nedosáhlo ustálené hmotnosti. Tato skutečnost se ověřila kontrolním vážením. Po dosažení ustálené hmotnosti proběhlo umístění zkušebních vzorků do exsikátoru a následovalo opět měření a vážení. Po stanovení rozměrů a hmotností se přešlo ke zkoušení vzorků.



Obr. 22 Vážení zkušebních vzorků s přesností na 4 desetinná místa

Postup zkoušení dle ČSN 49 0110

Předem připravené zkušební vzorky byly přemístěny ke zkušebnímu zařízení. Zkouška probíhala ve zkušebním lisu. Zkušební vzorky byly do lisu vloženy na výšku ve směru rovnoběžném s vlákny (obr. 23). Zatěžování probíhalo bez vyvození ohybu konstantní rychlostí tak, aby maximálního zatížení - F_{\max} [kN] bylo dosaženo v intervalu (60 ± 30) s. Následně se odečetla hodnota maximálního zatížení s přesností na 2 desetinná místa. Porušené vzorky se odebraly z lisu (obr. 24, 25). Pomocí vzorce se dopočítala pevnost jednotlivých vzorků dle vzorce (3). [8]

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_W = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

Stanovení vlhkosti proběhlo dle vzorce (7) viz. 6.4 Stanovení vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou.

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny přepočtená na 12% vlhkost

$$\sigma_{12} = \sigma_W * (1 + \alpha * (w - 12)) \text{ [MPa]} \quad (4)$$

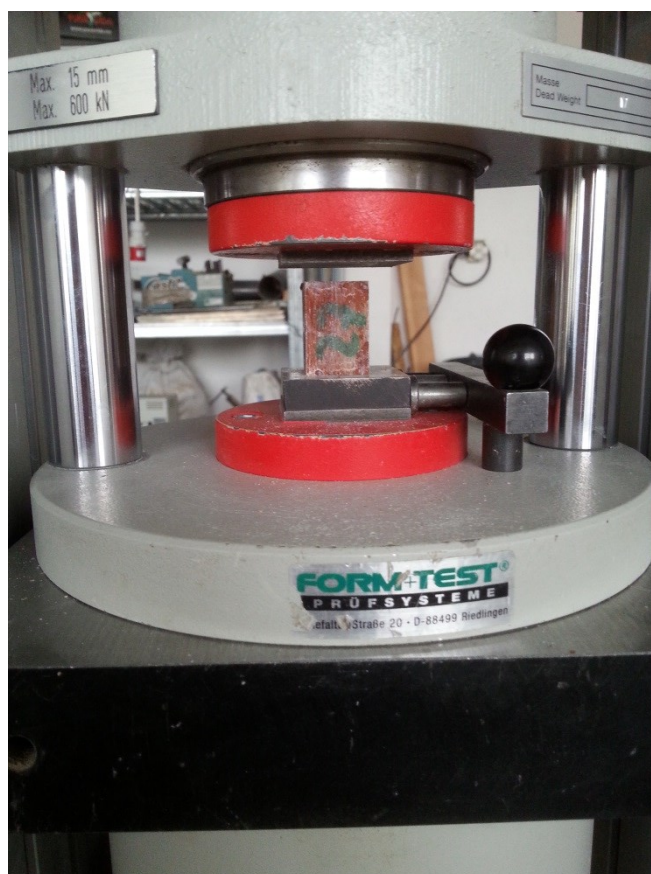
Popis veličin:

F_{\max} - největší zatížení [kN];

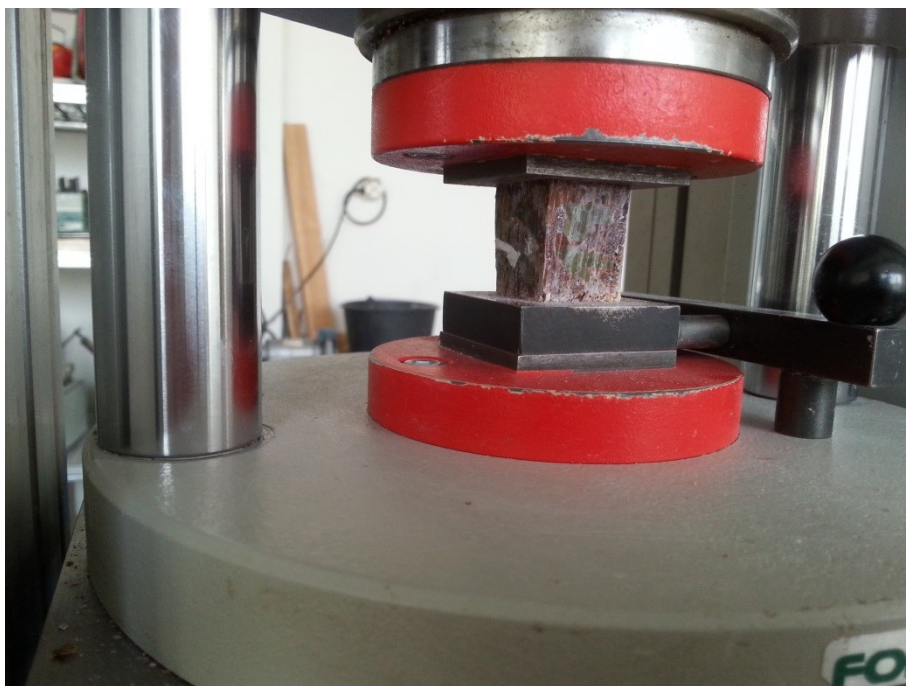
a, b - rozměry vzorku [mm];

w - vlhkost zkušebního tělesa [%];

α - opravný vlhkostní koeficient, pro všechny dřeviny stejný 0,04[—].[8]



Obr. 23 Umístění zkušebního vzorku do lisu



Obr. 24 Deformace zkušebního vzorku po zkoušce pevnosti v tlaku podél vláken



Obr. 25 Deformované vzorky smrku po zkoušce pevnosti v tlaku podél vláken

6.3 Stanovení objemové hmotnosti

Postup dle ČSN 49 0108

Pro stanovení objemové hmotnosti jsou využity vzorky z předchozích zkoušek. Vzorky jsou ve tvaru pravoúhlého hranolu, základná má rozměry 20x20 mm a délka podél vláken je 30 mm pro vzorky na pevnost v tlaku a 300 mm pro rázovou houževnatost, jedna plocha vzorku by měla být v radiální rovině a druhá v tangenciální rovině. V polovině délky vzorku byla změřena šířka v radiálním a výška v tangenciálním směru a pomocí posuvného měřidla s přesností na 2 desetinná místa. V polovině šířky byla následně změřena také délka vzorku s přesností na 2 desetinná místa. Hmotnost se stanovila pomocí digitálních vah s přesností na 4 desetinná místa pro vzorky na pevnost v tlaku a na 2 desetinná místa pro vzorky na rázovou houževnatost. Pro pevnost v tlaku se volila větší přesnost, protože se jedná o malá zkušební tělíska, která mají hmotnost v řádech gramů. Objemová hmotnost byla stanovena na klimatizovaných a následně i klimatizovaných ošetřených vzorcích. Pomocí vzorce (5) se dopočítala objemová hmotnost. [10]

Objemová hmotnost

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

Objem

$$V = a * b * c \text{ [mm}^3\text{]} \quad (6)$$

Popis veličin:

m- hmotnost vzorku [g];

V - objem vzorku [mm³];

a - šířka [mm];

b - výška [mm];

c - délka [mm]. [10]

6.4 Stanovení vlhkosti dřeva gravimetrickou metodou

Postup dle ČSN 49 0103

Vzorky, které byly mineralizovány křemičitanem sodným, byly umístěny do klimatické komory při teplotě 20°C a 70% vlhkosti dokud nedosáhly ustálené hmotnosti. Po dosažení ustálené hmotnosti se vzorky změřily a zvážily a proběhly jednotlivé zkoušky. U porušených vzorků bylo třeba zjistit pro další zpracování i hmotnostní vlhkost dřeva v době zkoušky. Z tohoto důvodu se po zkouškách vybrané vzorky umístily do sušárny, kde byla nastavena teplota na 103±2°C. Zde byly ponechány, dokud nedosáhly ustálené hmotnosti. Po dosažení ustálené hmotnosti byly znovu zváženy. Dle vzorce (7) se dopočítala vlhkost dřeva. [11]

Vlhkost:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100 [\%] \quad (7)$$

Popis veličin:

m_1 - hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [g];

m_2 -hmotnost vzorku po vysušení [g].

6.5 Stanovení příjmu roztoku

Postup dle ČSN EN 351-1

Zkušební vzorky byly umístěny do klimatické komory s teplotou 20°C a vlhkostí 70%. V klimatické komoře zůstaly, dokud se nedosáhlo ustálené hmotnosti. Tato skutečnost se ověřila kontrolním vážením. Po dosažení ustálené hmotnosti proběhlo umístění zkušebních vzorků do exsikátoru a následovalo vážení. Hmotnost se stanovila pomocí digitálních vah s přesností na 4 desetinná místa pro vzorky na pevnost v tlaku a na 2 desetinná místa pro vzorky na rázovou houževnatost. Následovalo vložení zkušebních vzorků do nádoby s křemičitanem sodným. Zkušební vzorky se po uplynutí patřičného časového intervalu vytáhly, povrchově osušily a opět zvážily. Pomocí vzorce (8) se stanovil plošný příjem roztoků. [13]

Příjem roztoku

$$p = k * \frac{(m_x - m_0)}{A} [g/m^2] \quad (8)$$

Popis veličin:

p – plošný příjem roztoku [g/m^2];

k – koncentrace roztoku [–];

m_x – hmotnost vzorku po vytažení z křemičitanu sodného a povrchovém osušení [g];

m_0 – hmotnost vzorku po vytažení z klimatizované komory [g];

A – plocha vzorku [m^2]. [13]

6.6 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Rastrovací elektronový mikroskop slouží k prohlížení povrchových detailů buněk a dalších struktur. Pracuje tak, že na vzorek dopadají svazky elektronů, a to na všechna místa vzorku. Následně odražený paprsek je detekován a převádí se na viditelný obraz. Vzorek musí být důkladně pokoven, pokovování může být provedeno zlatem. Rastrovací elektronová mikroskopie poskytuje až 100 tisícinásobné zvětšení. Pro získání kvalitního obrazu musí být vzorek zbaven všech nečistot a umístěn ve vakuové komoře, aby dopadající elektronový svazek i odražené nebo vyražené elektrony nebyly rozptylovány srážkami s molekulami vzduchu. Informace o struktuře a složení látek z povrchu vzorků lze získat pomocí detekce elektronů různých druhů. Pro zachycení těchto elektronů jsou mikroskopy vybavovány detektory, a to nejčastější pro odražené a vyražené elektrony. [16]

Pro skenovací elektronovou mikroskopii se nejdříve vyhotovily primární vzorky s určitou délkou máčení. Z nich byly odebrány menší vzorky tak, aby se na dvou hranách nacházely povrchy penetrace. Radiální plocha byla vytvořena rozštípnutím vzorku a vzorky se poté připevnilly na hliníkové terčíky. Poté následovala úprava povrchu žiletkou a označení šikmým příčným řezem pro orientaci mezi jarním a letním dřevem. Vzorek se musel pokovovat, protože SEM snímá pouze kovové nebo pokovené plochy. Pokovení probíhalo ve vakuu a to za pomoci zlata.

6.7 Provádění experimentu a vyhodnocení výsledků

Na základě naměřených a následně dopočtených hodnot probíhalo vyhodnocení zkoušky. Nejprve vyhodnocení plošného příjmu roztoků u rázové houževnatosti a poté vyhodnocení rázové houževnatosti. Stejný postup byl proveden i u zkoušky pevnosti podél vláken. Z důvodu větší přehlednosti a orientace bylo vyhodnocení výsledků rozděleno na dvě podkapitoly. Kompletní naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze.

6.7.1 Rázová houževnatost vyhodnocení

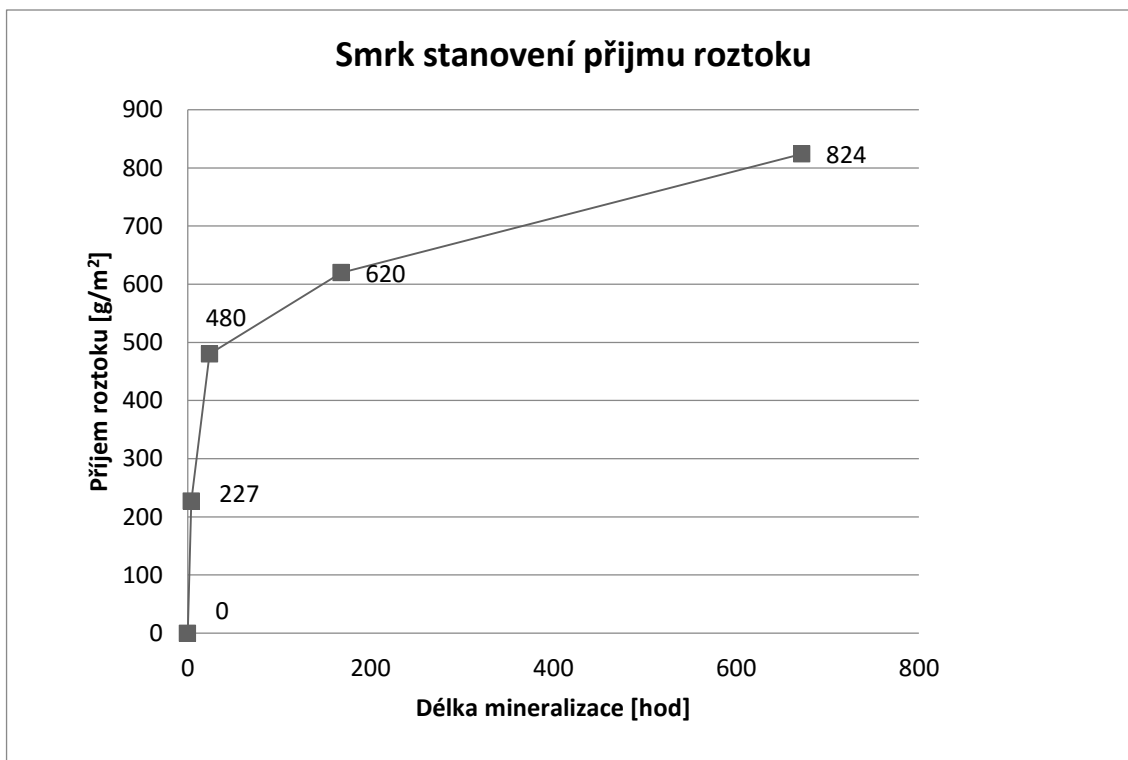
Na základě uvedeného postupu zkoušení rázové houževnatosti byly stanoveny příjmy roztoků. Pro větší přehlednost dosažených výsledků, byly vytvořeny tabulky s průměrnými hodnotami a pro lepší přehlednost a větší názornost výsledků i grafy. V tab. 5 jsou uvedeny příjmy roztoků vzorků pro rázovou houževnatost, jedná se o průměrné hodnoty získané z 30 hodnot plošného příjmu roztoků každé dřeviny pro každý časový interval. V tab. 6 jsou uvedeny objemové hmotnosti před mineralizací. Za symbolem „±“ jsou uvedeny směrodatné odchylky. Následně jsou uvedeny obrázky pro smrk č. 26, č. 27 pro modřín, č. 28 pro buk a č. 29 pro dub.

Tab. 5 Plošný příjem křemičitanu sodného [g/m^2] vzorků pro rázovou houževnatost

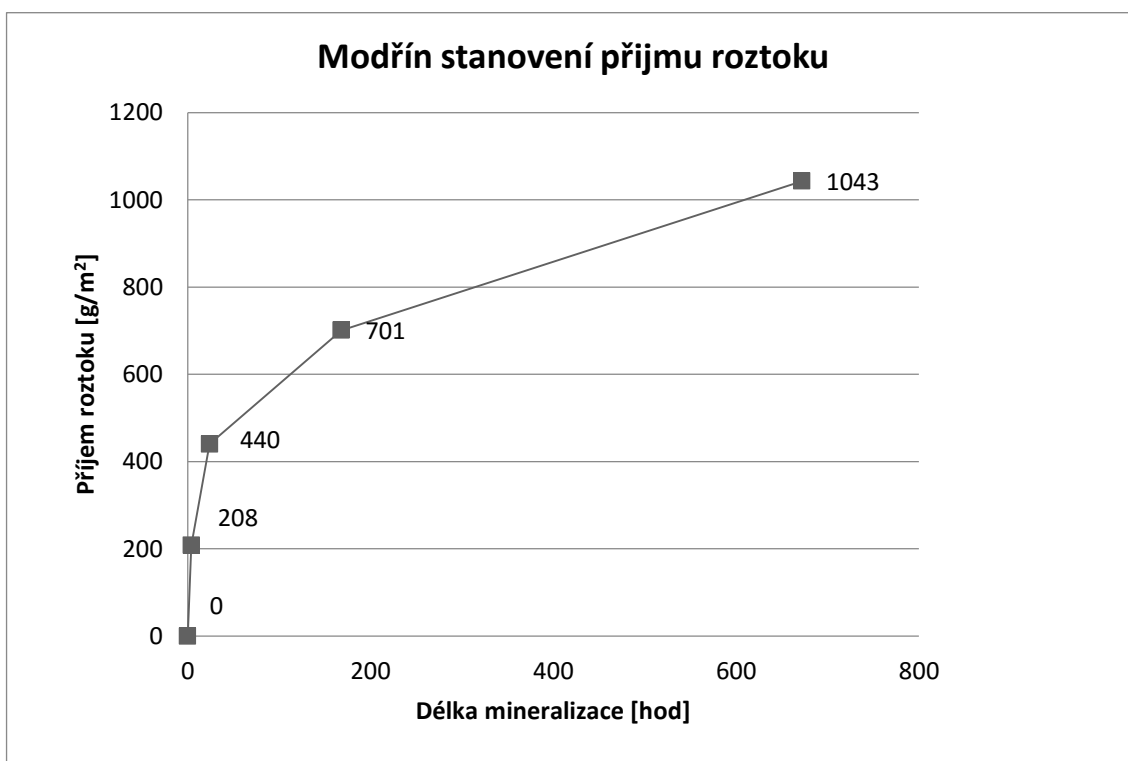
Druh dřeviny	PŘÍJEM ROZTOKU				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	0±0	227±50	480±61	620±66	824±167
Modřín opadavý	0±0	208±24	440±78	701±89	1043±163
Buk lesní	0±0	307±29	625±103	821±61	1159±121
Dub	0±0	164±11	487±89	636±53	963±196

Tab. 6 Objemová hmotnost [kg/m^3] vzorků pro rázovou houževnatost před mineralizací

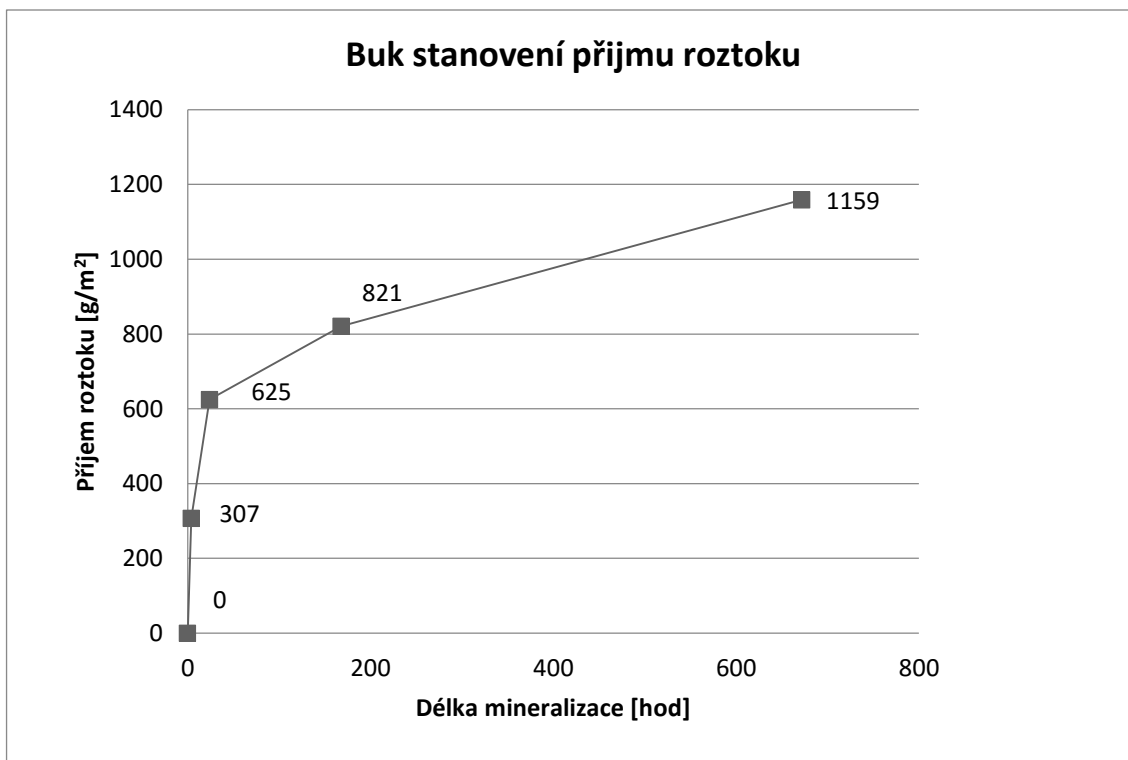
Druh dřeviny	OBJEMOVÁ HMOTNOST				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	460±70	440±60	440±60	460±50	420±60
Modřín opadavý	680±80	670±90	670±90	640±70	670±100
Buk lesní	720±30	700±30	700±20	720±30	680±30
Dub	750±40	720±40	740±30	720±40	720±50



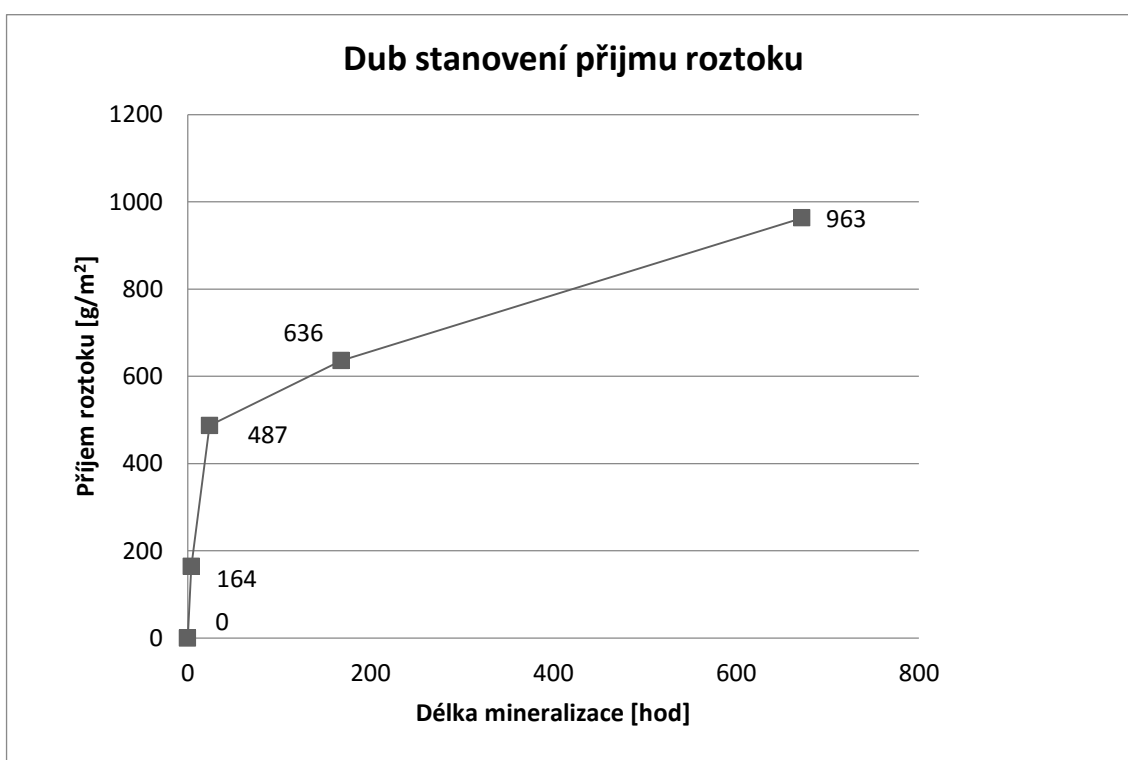
Obr. 26 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro smrk



Obr. 27 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro modřín



Obr. 28 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro buk



Obr. 29 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro dub

Z tabulky a grafů lze vyčíst, že plošný příjem křemičitanu sodného pro každou dřevinu rostl v závislosti na čase. Nejvyšší příjem po 672 hodinové mineralizaci měl buk, u kterého byl tento výsledek očekáván, protože se jedná o dobře impregnovatelnou dřevinu. Naopak nejnižší příjem po 672 hodinové mineralizaci měl smrk. Díky tomu se potvrdilo, že smrk je špatně impregnovatelný. Dub a modřín dosahovaly přibližně stejných hodnot ve všech časových intervalech.

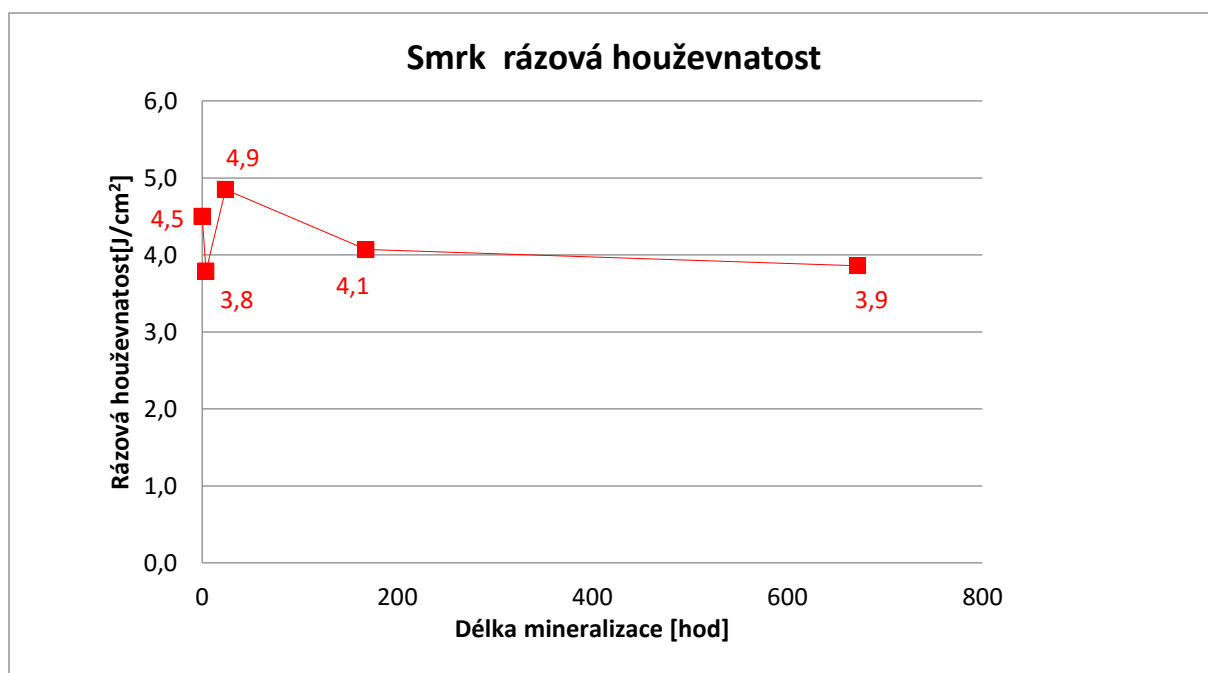
V tab. 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty rázové houževnatosti pro jednotlivé dřeviny a délky mineralizace. Průměrné hodnoty byly přepočtené na 12% vlhkost, z důvodu lepší vypovídající hodnoty, jelikož každý druh dřeviny měl v době zkoušky jinou vlhkost. Ta se pohybovala mezi 13-19%. Vlhkost vzorků rostla s délkou mineralizace. Toto mohlo být zapříčiněno pravděpodobně provedenou mineralizací dřeva. V tab. 8 jsou uvedeny objemové hmotnosti vzorků po mineralizaci. Následně jsou opět uvedeny obrázky č. 30, č. 31, č. 32, č. 33 pro jednotlivé dřeviny, ve kterých jsou hodnoty rázové houževnatosti mineralizovaných vzorků srovnány se vzorky nemineralizovanými, které byly poskytnuty *Ing. Terezou Majstríkovou*.

Tab. 7 Rázová houževnatost přepočtená na 12% vlhkost [J/cm^2]

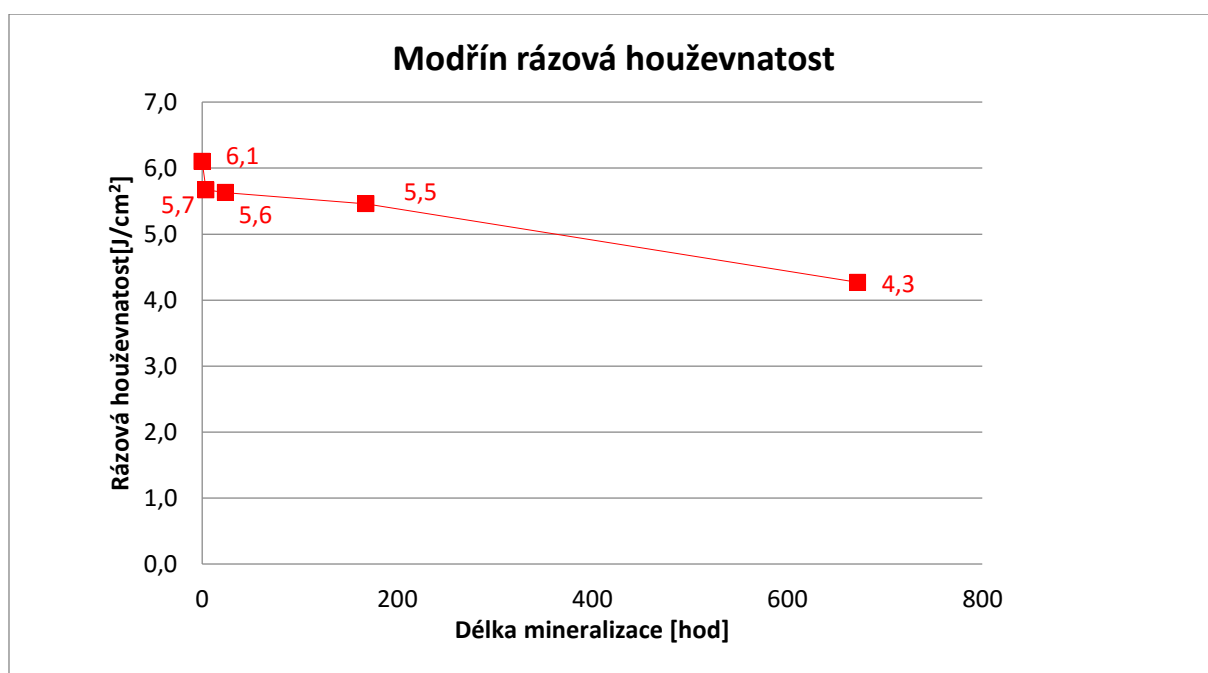
Druh dřeviny	DÉLKA MINERALIZACE				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	4,5±2,0	3,8±1,8	4,9±2,5	4,1±1,5	3,9±1,4
Modřín opadavý	6,1±1,8	5,7±2,0	5,6±1,7	5,5±2,1	4,3±1,6
Buk lesní	10,0±2,8	8,7±1,9	10,1±2,7	8,7±2,7	10,6±1,7
Dub	6,1±1,4	6,5±2,0	7,0±1,9	7,1±1,6	6,7±1,2

Tab. 8 Objemová hmotnost [kg/m^3] vzorků pro rázovou houževnatost během provádění zkoušky

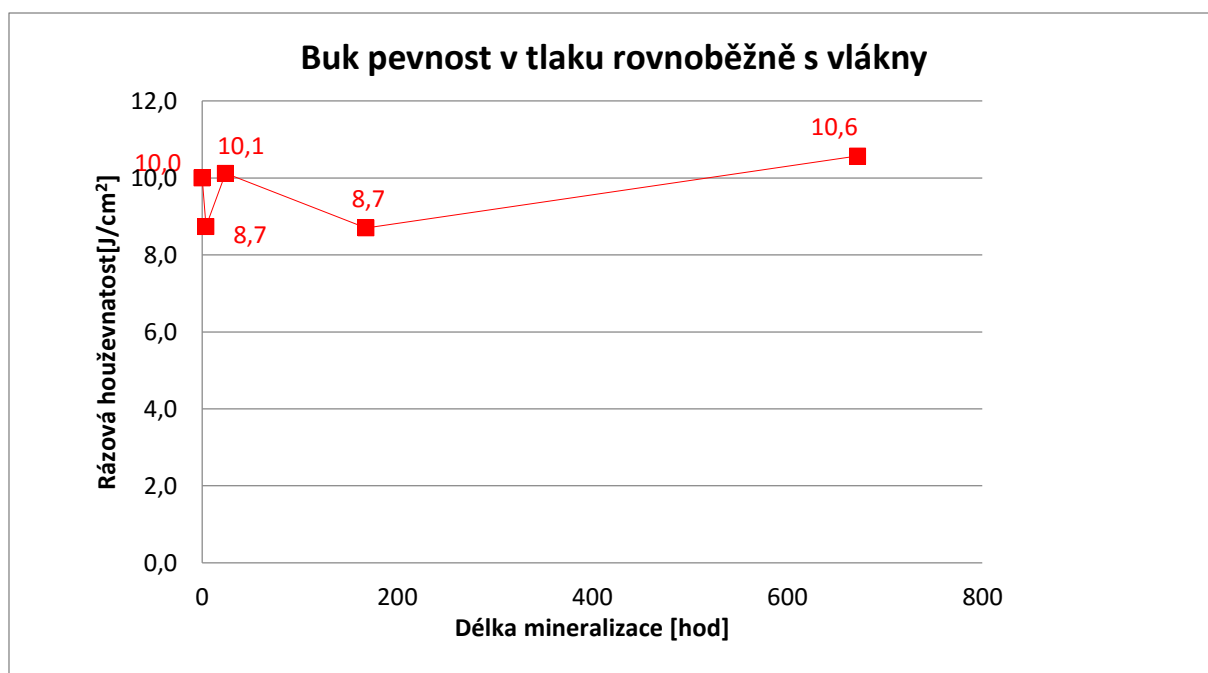
Druh dřeviny	OBJEMOVÁ HMOTNOST				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	460±70	450±50	460±60	490±40	470±50
Modřín opadavý	680±80	670±80	670±80	670±70	700±110
Buk lesní	720±30	710±30	730±20	730±60	740±30
Dub	750±40	730±40	750±30	740±40	750±50



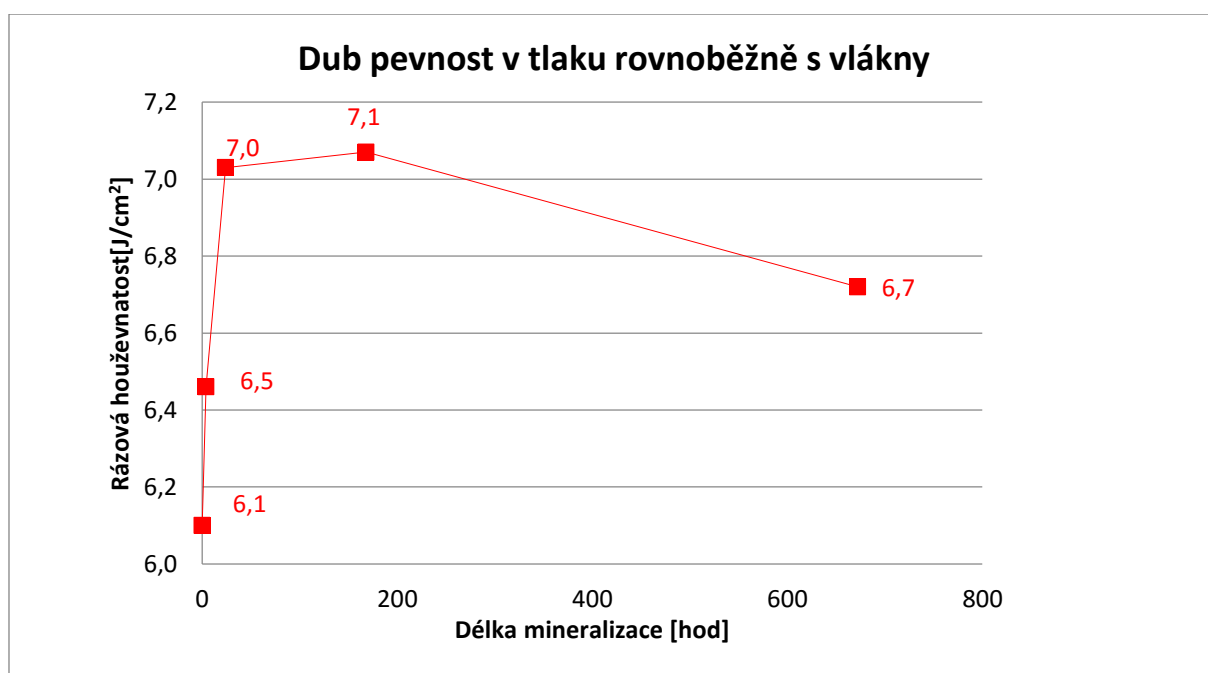
Obr. 30 Graf rázové houževnatosti pro smrk



Obr. 31 Graf rázové houževnatosti pro modřín



Obr. 32 Graf rázové houževnatosti pro buk



Obr. 33 Graf rázové houževnatosti pro dub

Zhodnocení výsledků rázové houževnatosti

Z tabulky a grafů můžeme pozorovat, že plošný příjem roztoků u dřevin neustále roste. Nejvyšší plošný příjem nastává do 24 hodin od ponoření do křemičitanu sodného. V tomto intervalu každá ze zkoumaných dřevin dosáhne přibližně 50 % nasycení. V časovém intervalu 24-672 hodin neustále dochází k nárůstu plošného příjmu roztoku, ale tento nárůst je spíše pozvolný, protože křemičitan sodný penetruje hlouběji do dřeva. Plošný příjem roztoků by se dal přirovnat k logaritmické funkci.

Z naměřených a následně vypočtených hodnot lze pozorovat, že každá dřevina se po mineralizaci chová poněkud odlišně. Smrk v časovém intervalu 0-4 hodin nejprve klesne na nejnižší hodnotu a po 24 hodinové mineralizaci dosáhne své maximální rázové houževnatosti, která oproti neošetřeným vzorkům vzroste přibližně o 8%. Po dosažení svého maxima rázová houževnatost smrku klesá spolu s délkou mineralizace. U modřínu vlivem mineralizace dochází jen k poklesu rázové houževnatosti. Ta klesá v závislosti na délce máčení. Po 672 hodinách od mineralizace se rázová houževnatost sníží přibližně o 30%. Buk na mineralizaci reaguje v intervalu 0-24 hodin podobně jako smrk. Svě maximální rázové houževnatosti dosáhne po 672 hodinách, rázová houževnatost se zvýší přibližně o 6%. U dubu dochází po 24 hodinách od mineralizace ke skokovému nárůstu rázové houževnatosti o 15%. V době mezi 24-168 hodinami dochází jen k nepatrnému růstu rázové houževnatosti. Po 672 hodinách mineralizace rázová houževnatost klesá. Použití mineralizovaných dřevin v konstrukci by vyžadovalo individuální přístup. Změny rázové houževnatosti jsou relativně malé a mohou být způsobeny různou objemovou hmotností, vlhkostí a dalšími jevy. U dubového dřeva dochází k nárůstu přibližně o 15%, to by mohlo mít za následek zvýšení křehkosti. Zvýšení křehkosti může mít negativní vliv na manipulaci se dřevem a na využívání hřebíkových spojů, kdy může dojít k prasknutí spojovaných prvků. Z tohoto důvodu by v případě využití mineralizovaného dubového dřeva v konstrukci bylo vhodné využít jiné spoje než hřebíkové. U smrku a buku nedochází k výrazným změnám a tak mohou být použity v konstrukci, pokud chceme snížit vlhkost anebo zabránit objemovým změnám. U modřínu dochází ke snížení houževnatosti. Pravděpodobně dojde ke zvýšení tvárnosti dřeva, a tak můžeme využít tuto vlastnost například u dřevěných ohýbaných prvků.

6.7.2 Vyhodnocení pevnosti v tlaku podél vláken

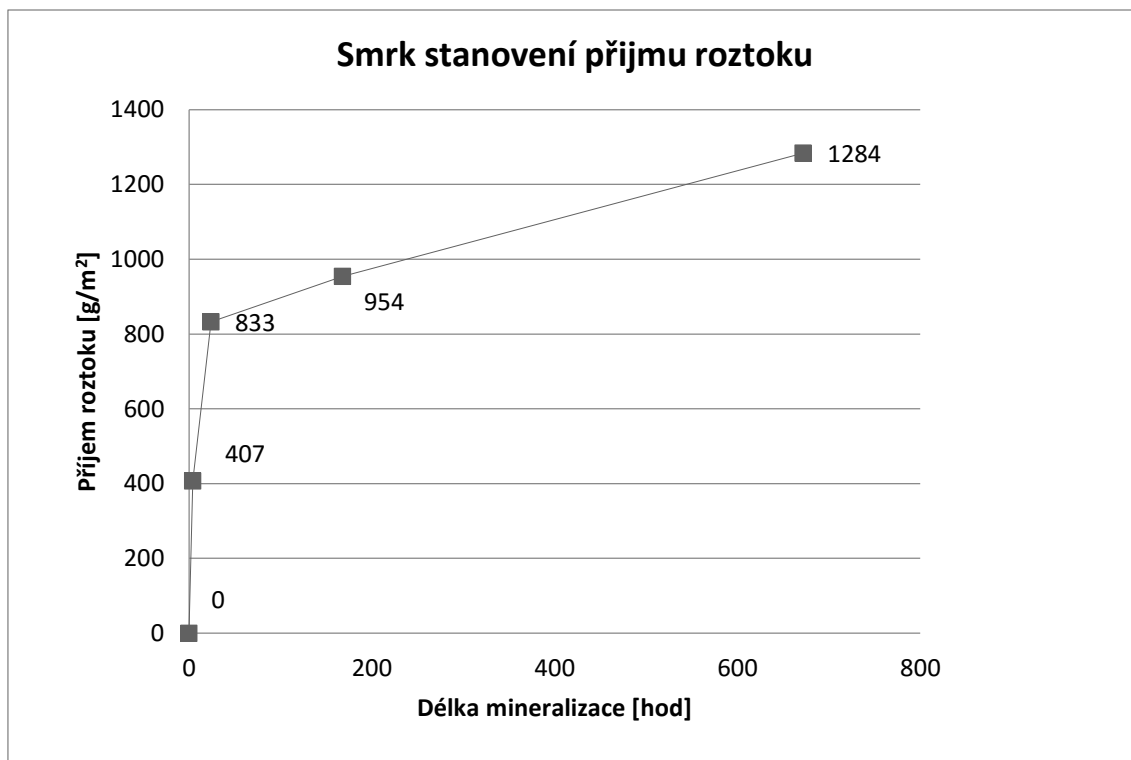
V tab. 9 jsou opět uvedeny hodnoty plošného příjmu roztoků vzorků určených pro pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, jedná se o průměrné hodnoty získané z 30 hodnot plošného příjmu roztoků každé dřeviny pro každý časový interval. Za symbolem „±“ jsou uvedeny směrodatné odchylky. V tab. 10 jsou uvedeny objemové hmotnosti vzorků před mineralizací. Pro lepší přehlednost jsou vytvořeny obrázky č. 34, č. 35, č. 36, č. 37.

Tab. 9 Plošný příjem roztoku [g/m²] vzorků pro pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

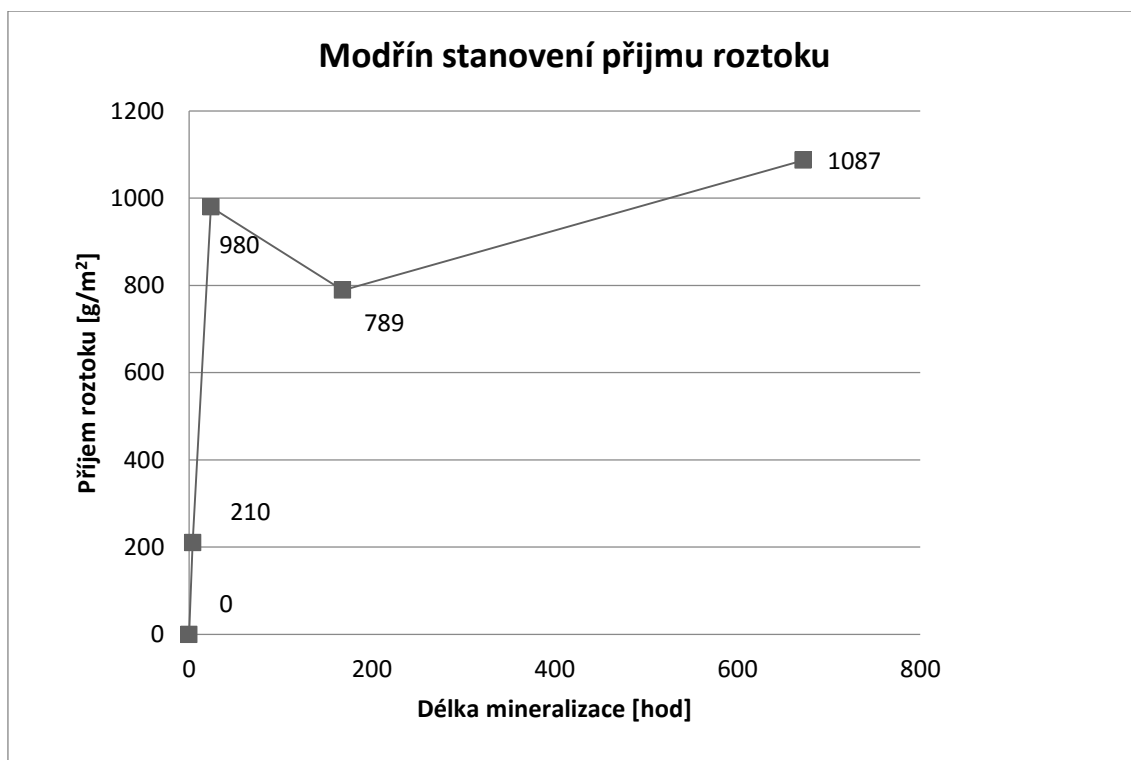
Druh dřeviny	PŘÍJEM ROZTOKU				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	0±0	407±83	833±125	954±221	1284±173
Modřín opadavý	0±0	210±30	980±194	789±92	1087±95
Buk lesní	0±0	245±31	1157±254	847±86	1192±150
Dub	0±0	167±24	667±170	584±55	934±150

Tab. 10 Objemová hmotnost [kg/m³] vzorků pro pevnost v tlaku podél vláken před mineralizací

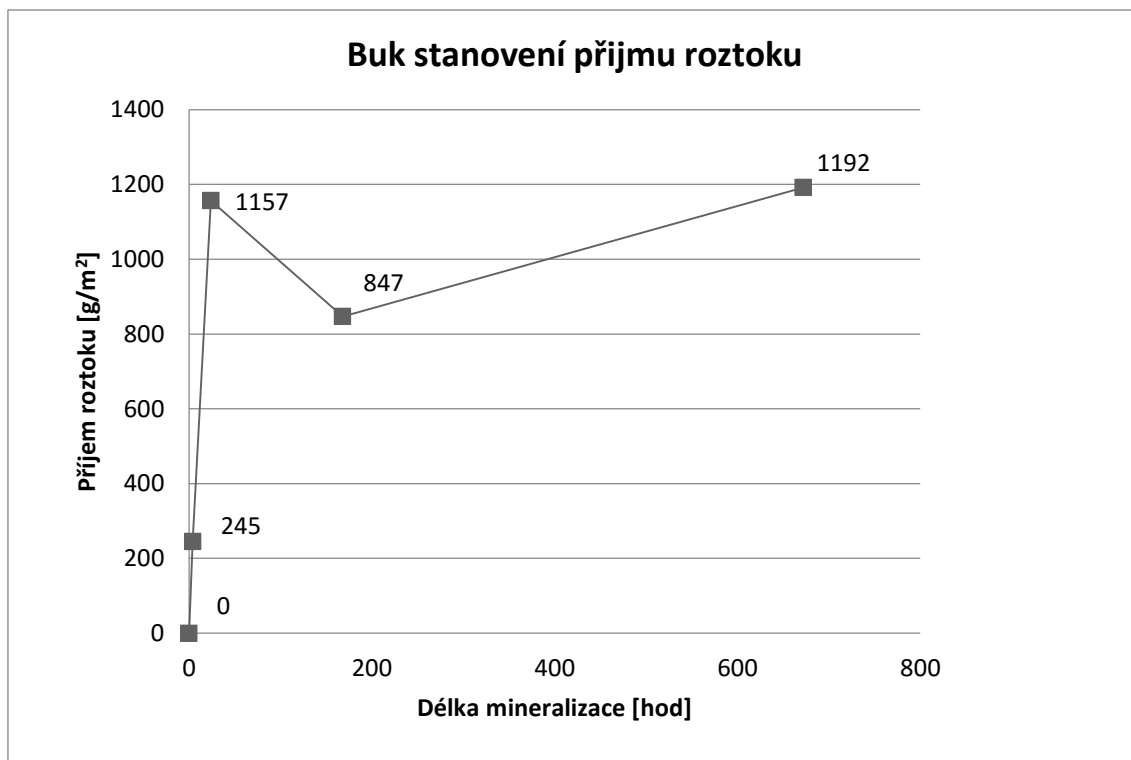
Druh dřeviny	OBJEMOVÁ HMOTNOST				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	420±50	430±60	420±50	430±70	450±50
Modřín opadavý	650±100	640±100	610±80	640±100	630±100
Buk lesní	710±30	700±30	690±30	700±80	710±40
Dub	740±60	740±50	750±60	730±40	740±40



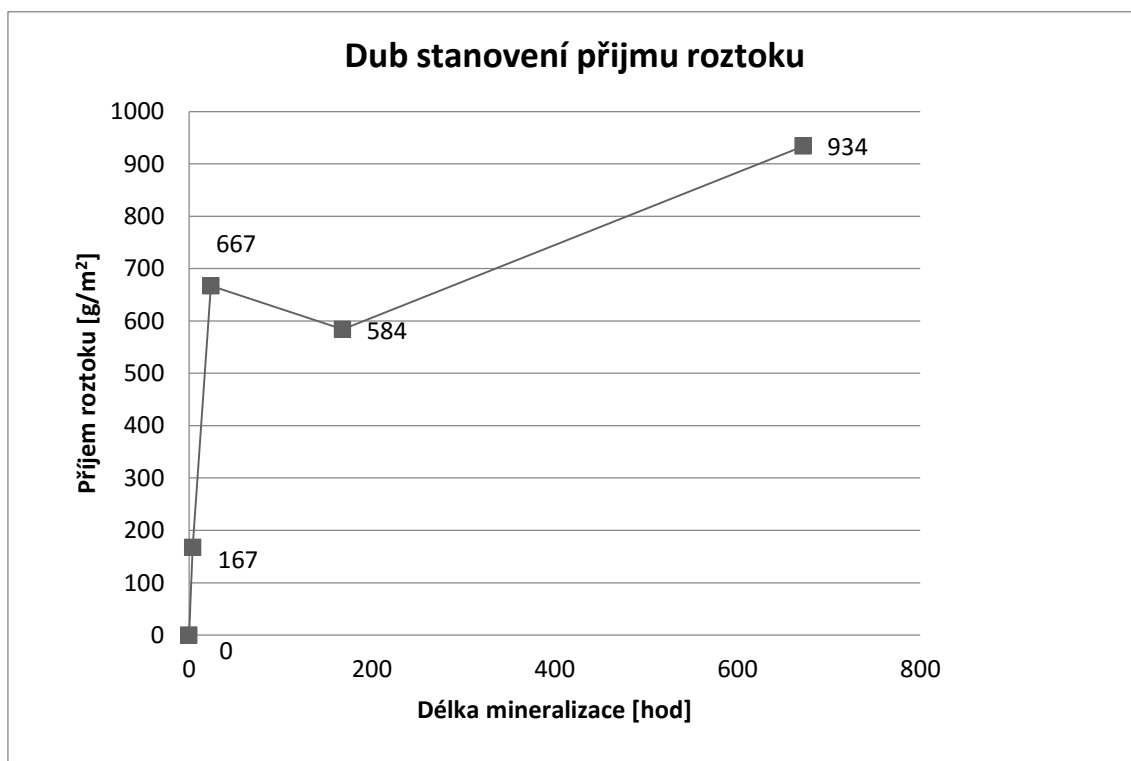
Obr. 34 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro smrk



Obr. 35 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro modřín



Obr. 36 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro buk



Obr. 37 Graf stanovení plošného příjmu roztoku pro dub

Příjem roztoků u vzorků pro pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny je různý. U smrkového dřeva příjem roztoku neustále roste. U modřínu, buku a dubu je po 168 hodinové mineralizaci příjem roztoku nižší než po 24 hodinách. To může být způsobeno tím,

že křemičitan sodný pravděpodobně nemohl penetrovat ke všem hranám vzorku. Tato skutečnost bude zhodnocena ve výsledcích. V krajním případě by muselo dojít k opakování 7 denní mineralizace.

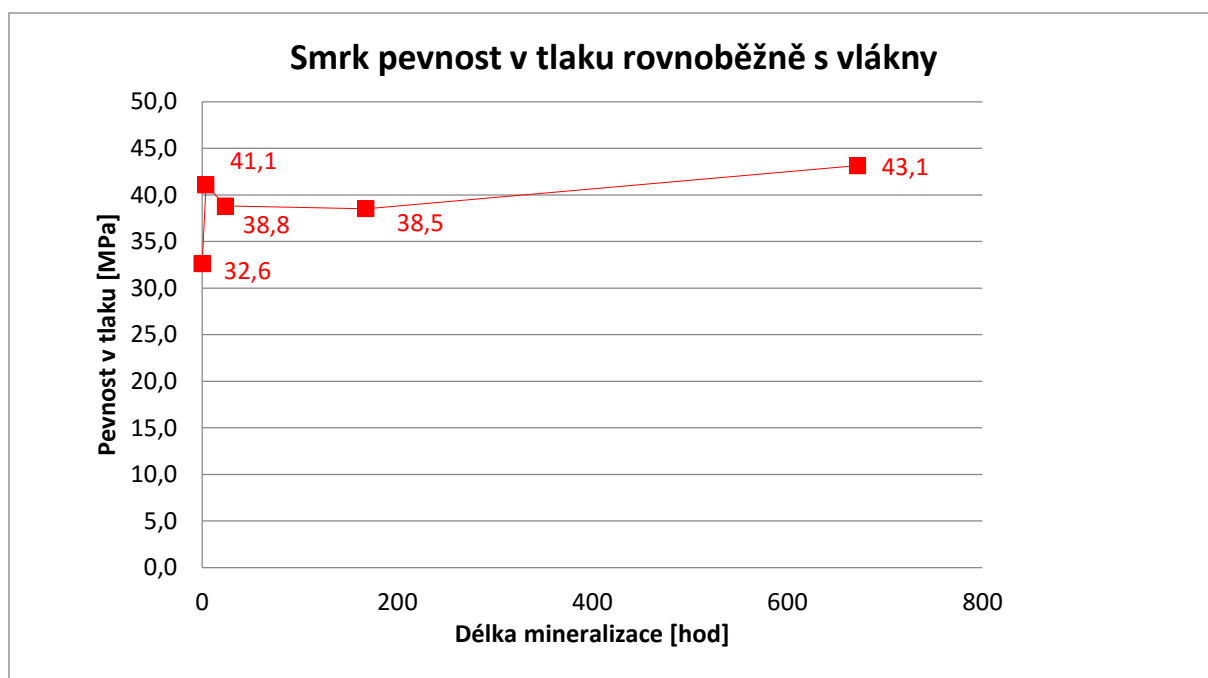
V tab. 11 jsou uvedeny průměrné hodnoty pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny pro jednotlivé dřeviny a délky mineralizace. Průměrné hodnoty byly přepočtené na 12% vlhkost, z důvodu lepší vypovídající hodnoty, jelikož každý druh dřeviny měl jinou vlhkost, vlhkost se pohybovala mezi 15-23%. Vlhkost u smrkového dřeva rostla v čase. U ostatních dřevin vlhkost kolísala víceméně náhodně. V tab. 12 jsou uvedeny objemové hmotnosti vzorků po mineralizaci. Ošetřené vzorky modřínu, dubu, buku byly zatěžovány rychlostí 0,3 kN/s, smrk rychlostí 0,25 kN/s. Referenční vzorky modřínu byly zatěžovány rychlostí 0,35 kN/s, vzorky buku a dubu rychlostí 0,3 kN/s a smrku rychlostí 0,25 kN/s. Následně jsou opět uvedeny obrázky č. 38, č. 39, č. 40, č. 41 pro jednotlivé dřeviny, ve kterých jsou hodnoty pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny mineralizovaných vzorků srovnány se vzorky nemineralizovanými.

Tab. 11 Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny přepočtená na 12% vlhkost [MPa]

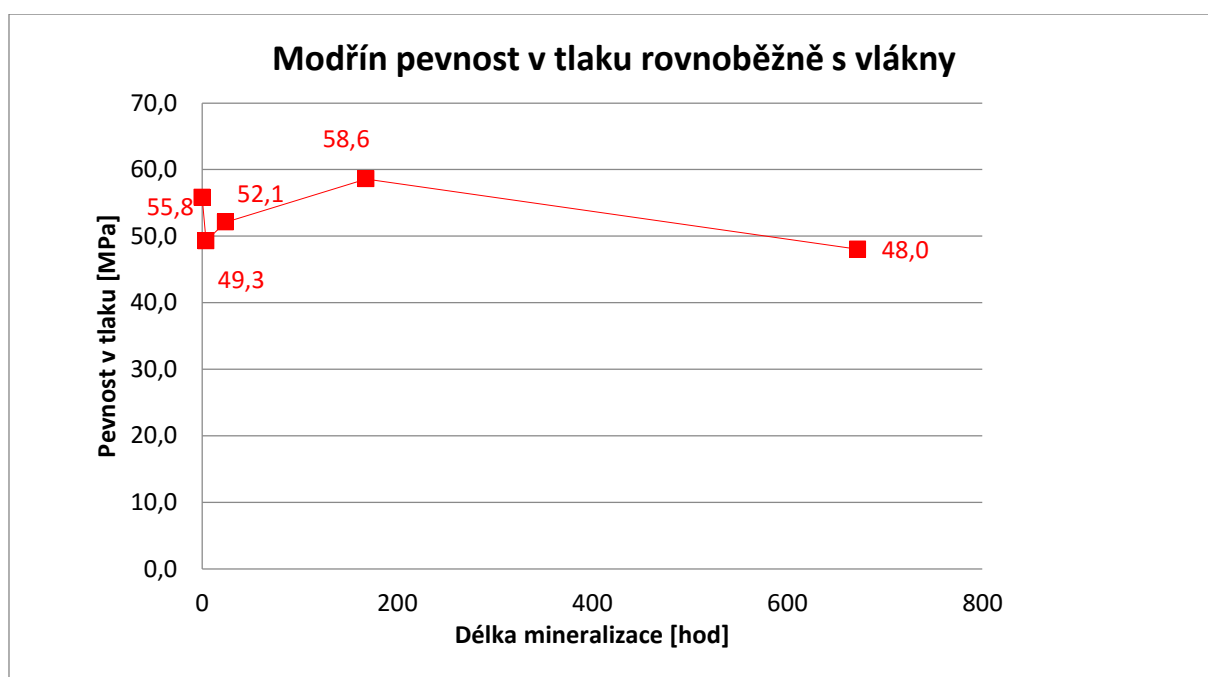
Druh dřeviny	DÉLKA MINERALIZACE				
	0-hod	4-hod	24-hod	7-dní	28-dní
Smrk ztepilý	32,6±11,3	41,1±7,1	38,8±7,8	38,5±8,8	43,1±5,3
Modřín opadavý	55,8±13,8	49,3±10,9	52,1±10,3	58,6±12,4	48,0±9,5
Buk lesní	49,9±9,8	52,3±8,4	52,0±8,0	55,1±5,8	50,0±4,8
Dub	58,8±5,8	58,9±6,8	58,1±9,0	59,8±6,9	47,7±10,2

Tab. 12 Objemová hmotnost [kg/m³] vzorků pro pevnost v tlaku podél vláken během zkoušení

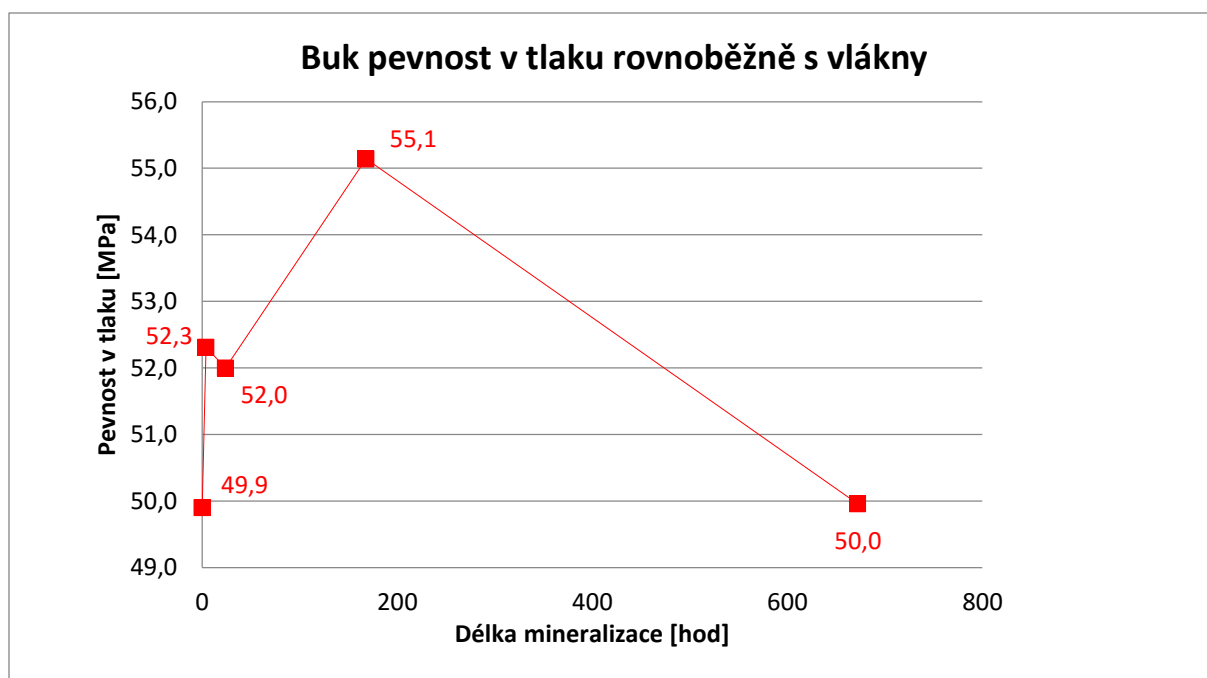
Druh dřeviny	OBJEMOVÁ HMOTNOST				
	0-hod	4-hod	24-hod	168-hod	672-hod
Smrk ztepilý	420±50	490±50	500±50	530±50	590±50
Modřín opadavý	650±100	650±100	680±70	700±90	710±90
Buk lesní	710±30	720±30	750±40	770±30	770±40
Dub	740±60	760±50	780±50	750±30	760±40



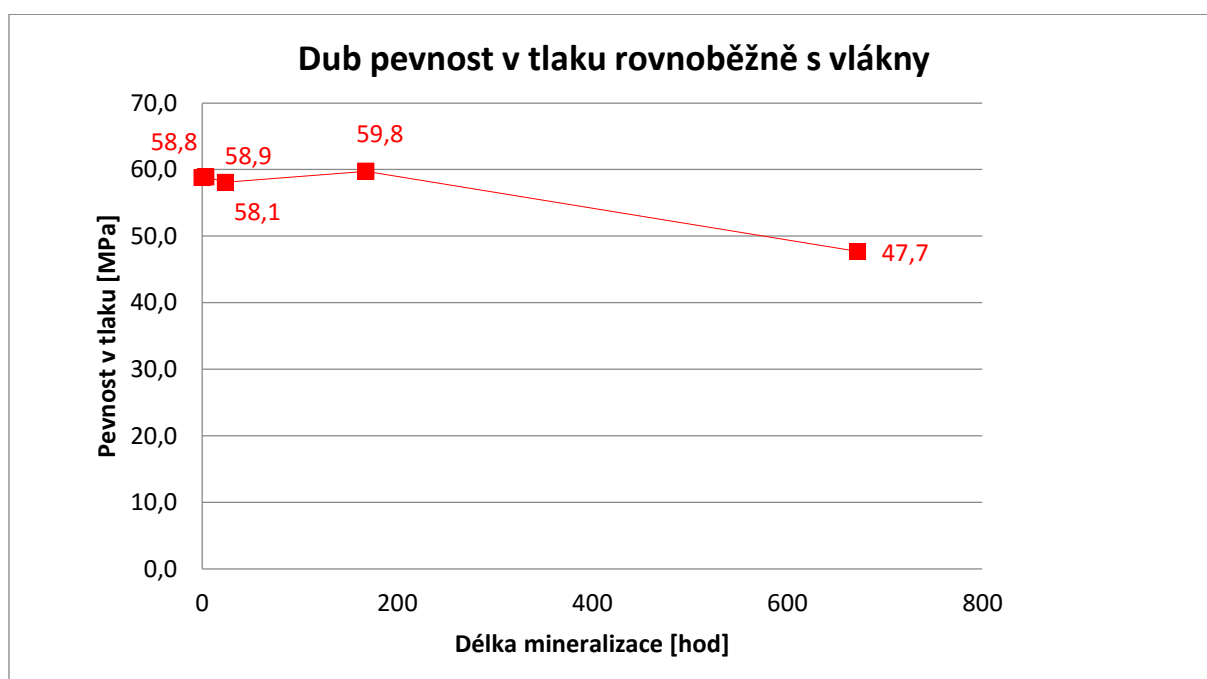
Obr. 38 Graf pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny pro smrk



Obr. 39 Graf pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny pro modřín



Obr. 40 Graf pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny pro buk



Obr. 41 Graf pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny pro dub

Zhodnocení výsledků pevnosti v tlaku podél vláken

Plošný příjem roztoků byl u vzorků pro pevnost v tlaku podél vláken zcela odlišný než u vzorků pro rázovou houževnatost. To je způsobeno menšími vzorky pro pevnost v tlaku

podél vláken. Smrk se zde chová jako dřevina, která přijem nejvíce křemičitanu sodného.. Smrk za 24 hodin dosáhne přibližně 65% nasycení, poté přijem roztoku neustále roste. Vzorky modřínu, buku a dubu dosáhnou dokonce 90% nasycení, tato hodnota může být zkreslena výraznou směrodatnou odchylkou, ale také se může jednat o skutečné hodnoty, protože vzorky pro pevnost v tlaku podél vláken mají rozměry 20x20x30 mm a takto mále vzorky snadno přijmou velké množství roztoku. Po 672 hodinách přijmou tyto tři dřeviny jen nepatrně více roztoku než u 24 hodinové mineralizace.

Vliv mineralizace křemičitanem sodným má výrazný vliv na pevnost v tlaku podél vláken. U všech zkoumaných dřevin došlo k nárůstu pevností. U smrku dochází během 4 hodinové mineralizace ke zvýšení pevnosti téměř o 26%. Jedná se tedy o velice významnou změnu, která může mít velký vliv na využití takto upraveného dřeva. Po 4 hodinách dochází k menšímu poklesu pevností, ale s delším časovým intervalem pevnost opět stoupá. Maximální pevnosti v tlaku podél vláken smrk dosáhne po 672 hodinách a tato hodnota je přibližně o 32% větší než u vzorků neošetřených. U modřínu nejprve došlo k poklesu pevnosti. Po 168 hodinové mineralizaci však i modřín vykazuje zvýšení pevnosti. Zvýšení ovšem není tak výrazné jako u smrku pevnost u modřínu se zvýší cca o 5%. Po 168 hodinách už dochází jen ke snížení pevnosti. Pevnost v tlaku podél vláken u buku taktéž roste. Po 168 hodinách pevnost vzroste o téměř 10 %. Následně dochází k mírnému poklesu pevností. Dub se chová podobně jako buk. Po 168 hodinách taktéž dosáhne svého maxima. Zvýšení pevností však není tak výrazné pevnost vzroste jen o necelá 2%. Poté opět dochází k poklesu pevnosti.

Snížení pevnosti u modřínu, buku a dubu po 168 hodinách je patrně zapříčiněno přílišným nasycením těchto dřevin. Křemičitan sodný svým vytvrzováním poruší vnitřní stavbu dřeva a v důsledku toho dochází k poklesu pevností. Z tohoto vyplývá, že nejvýhodnější délka mineralizace křemičitanem sodným pro zvýšení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny u smrku je 672 hodin, u modřínu 168 hodin, u buku 168 hodin a pro dub také 168 hodin. U pevností po 168 hodinách je nutné tyto výsledky brát s větší rezervou. Pevnost může být ovlivněna nižším příjmem roztoku.

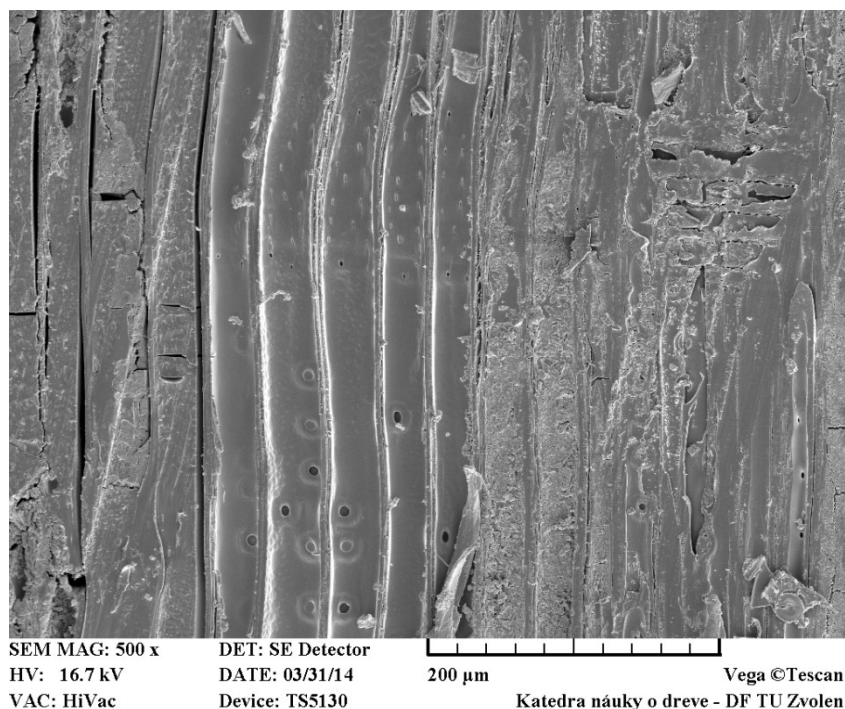
Uplatnění mineralizovaného dřeva, by bylo vhodné převážně pro prvky, které nekladou přílišný důraz na estetiku, protože mineralizované dřevo má na sobě bílý povlak a místy zůstávají i ztvrdlé kousky křemičitanu sodného a může také dojít k obarvení dřevin vlivem výluhů. Mineralizované dřevo by bylo vhodné použít například pro krovy, přístřešky pro hospodářská zvířata, pro bednění, i když zde bychom museli použít na prvky

v přímém kontaktu s dřevem dřevo neošetřené, protože křemičitan sodný by mohl způsobit zrychlené tuhnutí betonové směsi, ale snížil by výslednou pevnost betonu.

6.7.3 Vyhodnocení skenovací elektronové mikroskopie (SEM)

Snímky z elektronové mikroskopie byly poskytnuty Ing. Terezou Majstríkovou.

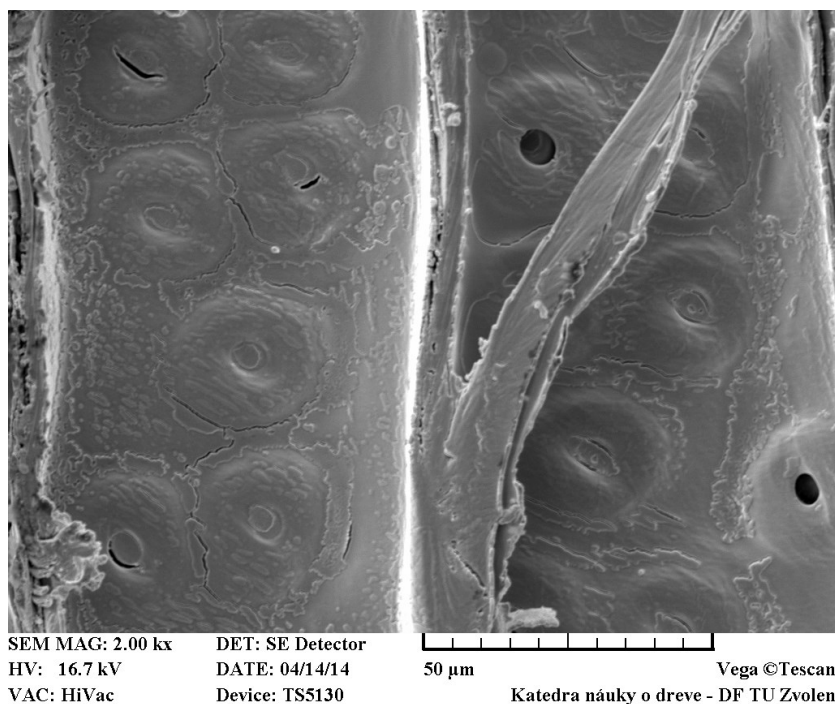
U smrku se v lumenech strukturují útvary a sekundární stěna je překrytá povlakem vodního skla. Penetrace křemičitanu sodného probíhala i v radiálním směru. Na některých snímcích lze pozorovat inkrustaci v jarních tracheidách a penetrace přes dvojtečky. V části vzorku penetrace i do letních tracheid. V jarních tracheidách lze místy pozorovat vzduchové embolie. Křemičitan sodný je skoro v celém vzorku, ale penetrace je nerovnoměrná. Uprostřed vzorku čisté lumeny jarních tracheid.



Povrchové vrstvy jarních tracheid, lumeny jarních tracheid jsou vyplněné strukturovaným povlakem vodního skla

Obr. 42 Snímek smrku z elektronové mikroskopie Zdroj: Technická univerzita vo Zvolene

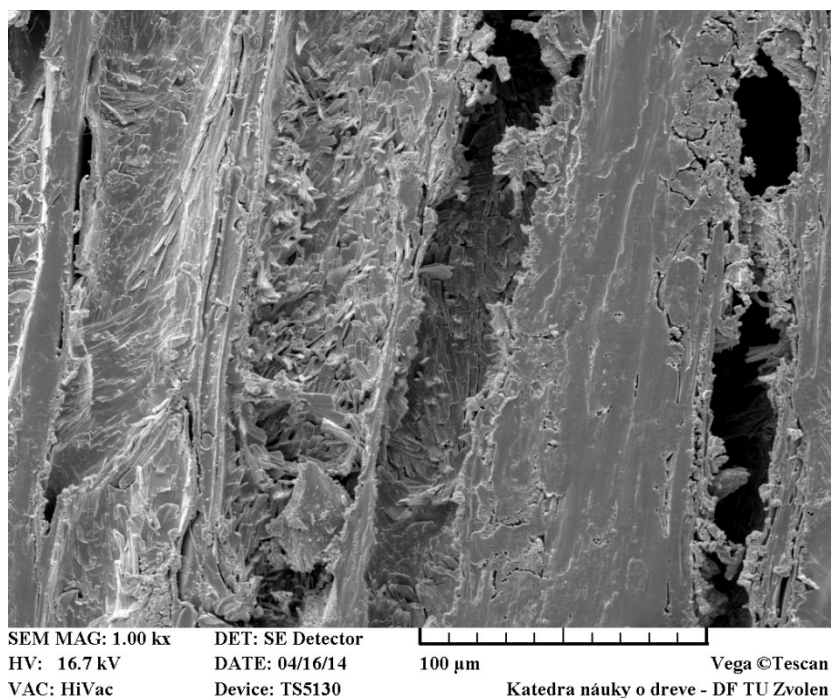
Křemičitan sodný u modřínu vytváří povlak v lumenech jarních tracheid. Povlak je strukturovaný a vznikají křehké lomy. Místy lumeny zcela vyplněné křemičitanem sodným. Roztok proniká i ztenčeninami, penetrace i přes dvojtečky podobně jako u smrku. V lumenech letních tracheid se vytváří inkrustace.



Detail vyplnění lumenu jarních tracheid vodním sklem těsně pod povrchem vzorku

Obr. 43 Snímek modřínu z elektronové mikroskopie Zdroj: Technická univerzita vo Zvolene

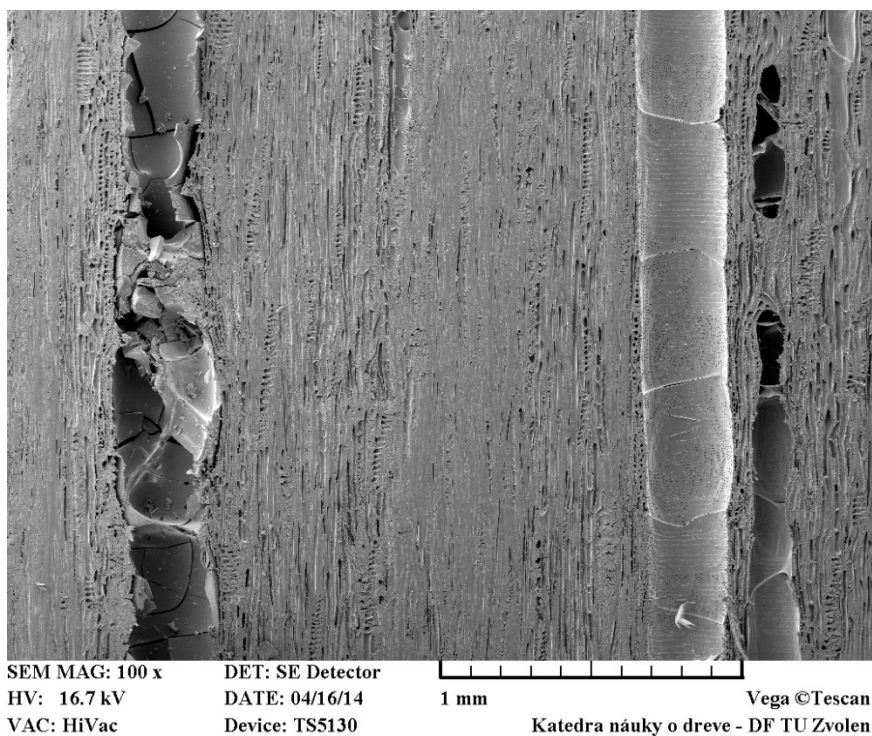
V jarních cévách buku vzniká hladký povlak. Povlaky jsou místy hladké a křehké. Inkrustace cév se vyskytuje v celém vzorku, dochází k ucpání lumenů cév. Inkrustace vznikají i v parenchymatických buňkách. Ve vzorku se vyskytují vzduchové embolie.



Charakteristické struktura ukládání vodního skla lumenech buku

Obr. 44 Snímek buku z elektronové mikroskopie Zdroj: Technická univerzita vo Zvolene

V jarních cévách dubu vznikají povlaky křemičitanu sodného. Povlaky vykazují křehké lomy. Vzniká charakteristická struktura povlaku v jarní cévě. Penetrace nedosahuje takové hloubky jako u modřínu a smrku. Na snímcích lze pozorovat čisté struktury i u povrchu vzorku. Křemičitan sodný proniká v axiálním směru zhruba do hloubky 16mm.



Nerovnoměrné penetrace vodního skla v jarní cévě a vlevo čistá jarní céva dubu

Obr. 45 Snímek dubu z elektronové mikroskopie Zdroj: Technická univerzita vo Zvolene

Křemičitan sodný vyplňuje lumény buněk u všech dřevin, na základě toho můžeme předpokládat, že dojde k nárůstu pevnosti materiálu a za určitých podmínek i rázové houževnatosti.

7 Závěr

Bakalářská práce měla za cíl čtenáře seznámit se dřevem. Konkrétně stručně s historií jeho použití, stavbou dřeva, která je velice důležitá z hlediska vlastností dřeva a jeho použitím pro stavební a další účely. Tato práce také poukázala na druhy degradace a nastínila problematiku degradací dřeva, příkladem mohou být degradace atmosférickými vlivy, termickými účinky, byl popsán vliv agresivních chemikálií a nakonec i biologické poškození dřeva. Další část byla zaměřena na způsoby a možnosti ochrany dřeva, zahrnující konstrukční ochranu, chemickou a ochranu pomocí modifikace dřeva, která má velký potenciál a bude se do budoucna dál vyvíjet. V souvislosti s praktickou částí této práce byly popsány látky, kterými lze mineralizaci provádět se zaměřením na výrobu a vlastnosti tzv. „vodního skla“. V praktické části je detailně popsána příprava vzorků a postup provádění jednotlivých zkoušek s následným vyhodnocením. Cílem praktické části bylo zjistit, jak se mineralizací mění mechanické vlastnosti rostlého dřeva, jelikož jistý vliv se dá z charakteru ošetření předpokládat. Z naměřených a vypočítaných hodnot vyplývá, že vlastnosti rostlého dřeva, konkrétně smrku, modřínu, buku a dubu se vlivem mineralizace značně mění. V případě odolnosti v rázové houževnatosti dochází u všech dřevin kromě modřínu k navýšení rázové houževnatosti, což znamená zvýšení křehkosti. Zvýšení u smrku a buku není příliš vysoké ve srovnání s neošetřenými vzorky. Dub naopak vykazuje výrazné zvýšení rázové houževnatosti. Na modřín má mineralizace opačný vliv, protože dochází ke snížení rázové houževnatosti což, však znamená, že dřevo bude tvárnější. Nejvhodnější délka mineralizace je pro každou dřevinu jiná, proto je nutné ke každé dřevině přistupovat individuálně. Vliv mineralizace na pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny je naopak významný. U všech dřevin došlo ke zvýšení této pevnosti v případě smrku skoro o deset megapascalů, což je velice významný vliv křemičitanu sodného, u buku, modřínu a dubu není zvýšení pevnosti v tlaku rovnoběžně tak výrazné, přesto došlo zejména u buku ke zvýšení. Mineralizace vodním sklem také redukuje vlhkost a zajišťuje menší objemové změny jednotlivých prvků. Mineralizace dřevin v sobě skrývá dle mého názoru velký potenciál v budoucím využití zvláště v případě smrkového dřeva, které patří k nejrozšířenějším a nejvyužívanějším. Jediná překážka pro využití by mohla být ekonomická stránka. V případě smrkového dřeva si myslím, že by mineralizace byla i z ekonomického hlediska zajímavá.

Úplným závěrem bych chtěl říct, že dřevo v sobě i přes hojné využívání skrývá potenciál a má neustále co nabídnout. V dnešní době kdy se dbá na trvale udržitelný rozvoj, je právě dřevo vhodný materiál pro stavebnictví. Jedná se o obnovitelný zdroj,

který se snadno recykluje a to je právě jeho velká přednost. Myslím, že i když se neustále vyvíjí nové materiály, dřevo své uplatnění vždy najde a bude nedílnou součástí našich životů.

8 Seznam použitých pramenů

Seznam odborné literatury

- [1] HÁJEK, V.: *Stavíme ze dřeva*. Praha: Sobotáles, 1997. ISBN 80-85920-44-1.
- [2] KUKLÍK, P.: *Dřevěné konstrukce*. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
- [3] LOKAJ, A.: *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [4] PTÁČEK, P.: *Ochrana dřeva*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2326-6.
- [5] REINPRECHT, L.: *Ochrana dreva*. Zvolen: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [6] SVOBODA, L.: *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1.
- [7] ŠIMŮNKOVÁ, E. a KUČEROVÁ I.: *Dřevo*. 2. Praha: STOP Společnost pro technologie ochrany památek, 2008. ISBN 978-80-86657-10-3.

Seznam norem

- [8] ČSN 490110 Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v smeru vláken (1980).
- [9] ČSN 490117 Dřevo. Rázová húževnatosť v ohybe (1982).
- [10] ČSN 49 0108 Dřevo. Zisťovanie hustoty (1993)
- [11] ČSN 49 0103 Dřevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach (1979).
- [12] ČSN EN 338: Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti (2010)
- [13] ČSN EN 351-1 Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky - Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku (2008).
- [14] ČSN EN 13183-1: Vlhkost vzorku řeziva-Část 1: Stanovení váhovou metodou (2004).

Seznam internetových zdrojů

- [15] BERÁNEK, J., ČERMÁK, P., PALOVČÍKOVÁ, D., *atlasposkozeni.mendelu.cz.: Tesařici na smrku ze dne 12. 3. 2016* [online]. atlasposkozeni.mendelu.cz. [12. 3. 2016]. Dostupné z: http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/477-tesarici_na_smrku.html
- [16] CHVÁTALOVÁ, L., *fch.vut.cz.:Elektronové mikroskopy ze dne 11. 4. 2016* [online]. fch.vut.cz [11. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/presentace_2003/20_elektronove_mikroskopy.pdf
- [17] MILLER, D. *Alpental.com.: Antrodia carbonica ze dne 12. 3. 2016* [online]. Alpental.com [12. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.alpental.com/psms/PNWMushrooms/PictorialKey/Polypores/Antrodia%20carbonica_2063.htm
- [18] SOUČKOVÁ, A., *propamatky.info.:Dřevokazný hmyz ze dne 12. 3. 2016* [online]. propamatky.info [12. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.propamatky.info/dokumenty/zprav_2956_drevokazny-hmyz.pdf
- [19] VODNÍ SKLO A.S., *vodnisklo.cz.:Základní informace o vodním skle ze dne 9. 4 2016* [online]. vodnisklo.cz [9. 4 2016]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/cz/clanky/zakladni-informace-o-vodnim-skle>
- [20] ZÍBAROVÁ, L. *Mykologie.net.: Antrodia serialis ze dne 12. 3. 2016* [online]. Mykologie.net [12. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/chorose/item/25-antrodia_serialis

9 Přílohy

Příloha č. 1: Rázová houževnatost plošný příjem roztoku u smrku v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 2: Stanovení rázové houževnatosti u smrku v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 3: Rázová houževnatost plošný příjem roztoku u modřínu v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 4: Stanovení rázové houževnatosti u modřínu v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 5: Rázová houževnatost plošný příjem roztoku u buku v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 6: Stanovení rázové houževnatosti u buku v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 7: Rázová houževnatost plošný příjem roztoku u dubu v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 8: Stanovení rázové houževnatosti u dubu v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 9: Pevnost v tlaku podél vláken plošný příjem roztoku u smrku v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 10: Stanovení pevnosti v tlaku podél vláken u smrku v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 11: Pevnost v tlaku podél vláken plošný příjem roztoku u modřínu v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 12: Stanovení pevnosti v tlaku podél vláken u modřínu v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 13: Pevnost v tlaku podél vláken plošný příjem roztoku u buku v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 14: Stanovení pevnosti v tlaku podél vláken u buku v intervalu 0-672 hodin

Příloha č. 15: Pevnost v tlaku podél vláken plošný příjem roztoku u dubu v intervalu 4-672 hodin

Příloha č. 16: Stanovení pevnosti v tlaku podél vláken u dubu v intervalu 0-672 hodin